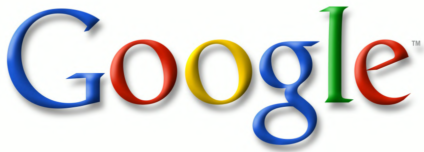


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

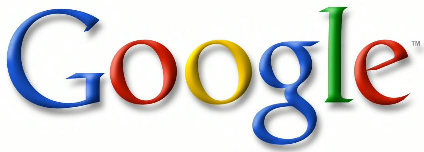
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

-A

2.4

Gj-A613.3

WHITNEY LIBRARY,

HARVARD UNIVERSITY.



ES LIBRARY

THE GIFT OF

J. D. WHITNEY,

Sturgis Hooper Professor

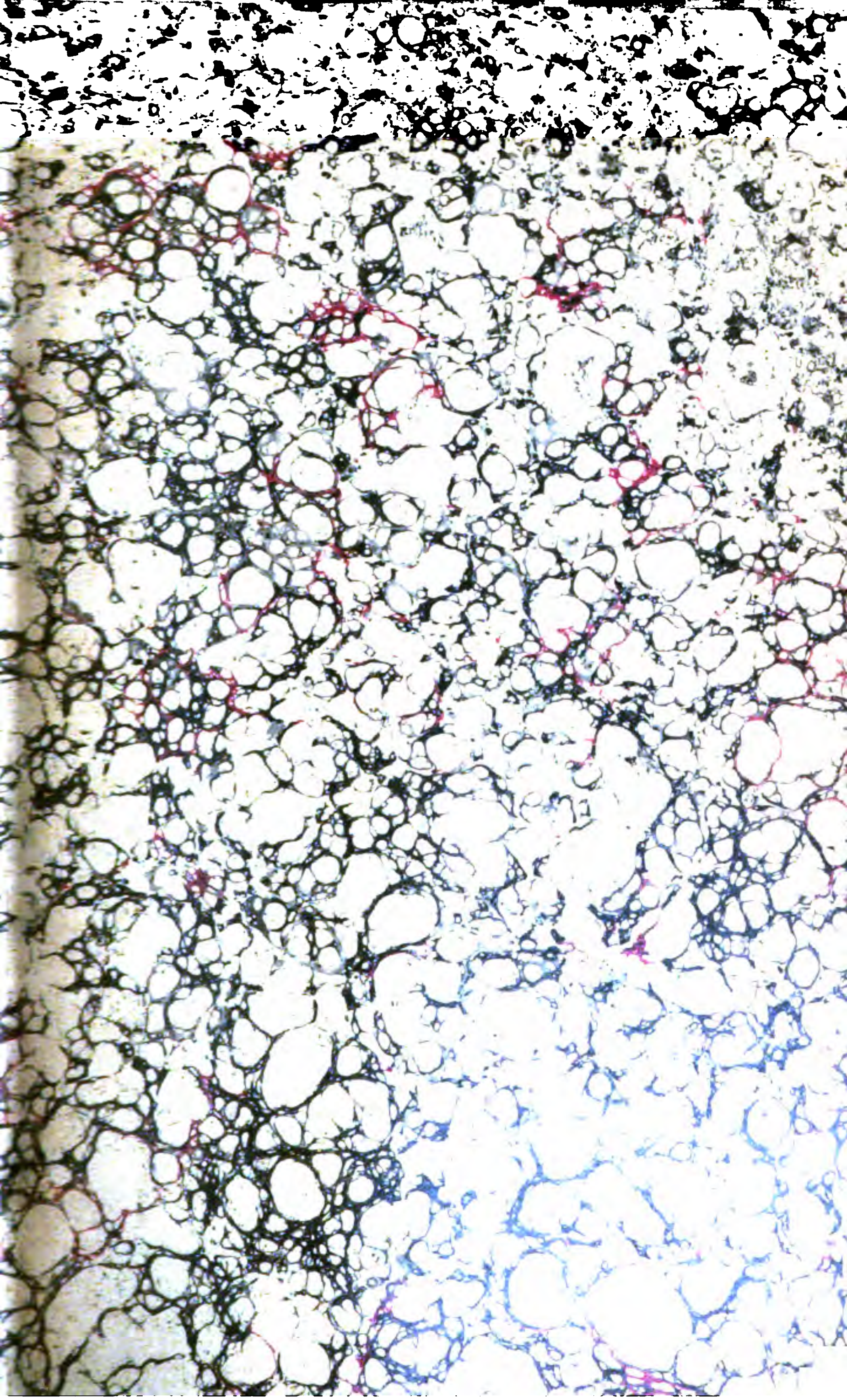
IN THE

MUSEUM OF COMPARATIVE ZOÖLOGY

21,234

TRANSFERRED TO

June 16, 1903.





ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MEMBRES DE LA COMMISSION.

Le Secrétaire général du Ministère fait partie de la Commission.

MM.

GRÜNER, inspecteur général des mines, président.
FRANÇOIS, inspecteur général des mines.
DU SOUICH, inspecteur général des mines.
DAUBRÉE, inspecteur général, directeur de l'Ecole des mines.
COUCHE, inspecteur général, professeur à l'Ecole des mines.
LEFÉBURE DE FOURCY, inspecteur général.
GUILLEBOT DE NERVILLE, inspecteur général.
JACQUOT, inspecteur général.
DESCOTTES, inspecteur général.
DUPONT, ingénieur en chef, inspecteur de l'Ecole des mines.

MM.

DE CHANCOURTOIS, ingénieur en chef, professeur à l'Ecole des mines.
DELESSE, ingénieur en chef, professeur à l'Ecole des mines.
BAYLE, ingénieur en chef, professeur à l'Ecole des mines.
LAMÉ-FLEURY, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général des mines.
LAN, ingénieur en chef, professeur à l'Ecole des mines.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur, professeur à l'Ecole des mines.
MALLARD, ingénieur, professeur à l'Ecole des mines.
MOISSENET, ingénieur, professeur à l'Ecole des mines, *secrétaire de la commission*.
ZEILLER, ingénieur, *secrétaire adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'Ingénieur, secrétaire de la Commission des* ANNALES DES MINES, 60, boulevard Saint-Michel, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME VIII.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1875

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE

LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1875, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — Établissement géographique de Bruxelles, fondé par M. Philippe van der Maelen.
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse; partie scientifique: archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — Jahrbuch der KAISERLICH - KÖNIGLICHEN GEOLOGISCHEN REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH.
20. — The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. *Londres.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*

23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Giessen.*
24. — Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereins. *Vienne.*
25. — The Canadian Journal of Science, Literature and History; Canadian Institute. *Toronto.*
26. — Zeitschrift des Architekten-und Ingenieur-Vereins zu Hannover. *Hanovre.*
27. — Geological Survey of India. *Calcutta.*
28. — Berg-und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. *Alsace.*
30. — Société Chimique de Paris.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure. *Berlin.*
33. — Société des Ingénieurs civils. *Paris.*
34. — Observatoire de Paris.
35. — Boston Society of Natural History. *Boston. États-Unis.*
36. — Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. *Wiesbaden.*
37. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruxelles.*
38. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures. *Londres.*
39. — Mittheilungen aus dem Jahrbuche der Kön. Ungar. geologischen Anstalt. *Pesth.*
40. — The Journal of the Iron and Steel Institute. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — Literary and Philosophical Society of Manchester.
44. — Berg-und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Bergakademien zu Leoben und Przibram und der Kön. Ungar. Bergakademie zu Schemnitz. *Leoben. Styrie.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liége.*
47. — Transactions of the American Institute of Mining Engineers. *Easton. Pensylvanie.*
48. — The American Chemist. *New-York.*
49. — Stummer's Ingenieur. *Vienne.*
50. — Academy of natural Sciences. *Philadelphie.*

L. M.

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1875.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

AOUST.—Des courbes quelconques conjuguées; par M. l'abbé Aoust, de l'Académie des sciences, etc., de Marseille. In-8°, 24. (6629)

BONNIN. — Étude sur le Postulatum d'Euclide, avec indication du point précis de l'intersection des deux droites; par F. Bonnin, inspecteur d'académie en retraite. In-8°, 16 p. et pl. Limoges, imp. et lib. Ve Ducourtieux. (11372)

CLAUDEL. — Introduction à la science de l'ingénieur. Aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, etc. Partie théorique; par J. Claudel, ingénieur civil. 6e édition, revue et considérablement augmentée. In-8°, XVI-1126 p. et 3 pl. Paris, imp. Arnous de Rivière et Ce; librairie Dunod. 17 fr. 50 cent. (7 août.) (8543)

LA FUENTE. — Cours élémentaires pour l'enseignement de la topographie dans les corps de troupe, rédigé d'après le programme officiel du ministre de la guerre; par Louis La Fuente, ancien capitaine d'état-major. In-16, VIII-102 p. et 9 pl. 2 fr. (23 juin). (6766)

2° *Physique et chimie.*

ANSART. — Théorie rationnelle des ouragans; par M. Ansart, capitaine de frégate. In-8°, 51 pages. (12742)

BECQUEREL. — Mémoire sur l'intervention des forces physico-chimiques dans les phénomènes de nutrition; par M. Becquerel,

membre de l'Académie. Lu dans la séance du 7 décembre 1874. In-4°, 86 p. et 1 pl. (7561)

Bernard. — Leçons sur les anesthésiques et sur l'asphyxie; par M. Claude Bernard, membre de l'Académie de médecine, professeur de médecine au Collége de France. Avec figures intercalées dans le texte. In-8°, VII-536 p. (10539)

Bloxam. — Enseignement du laboratoire, ou exercices progressifs de chimie pratique; par Charles Loudon Bloxam, professeur de chimie à l'école d'artillerie de Woolwich. Traduit sur la 3e édition par le docteur G. Darin. In-18 jésus, 302 p. (10288)

Galippe. — Étude toxicologique sur le cuivre et ses composés; par L. M. V. Galippe, docteur en médecine. In-8°, 168 p. (9784)

Girardin. — Leçons de chimie élémentaire appliquée aux arts industriels; par M. J. Girardin, recteur de l'académie de Clermont. 5e *édition*, entièrement refondue, avec fig. dans le texte. V. Chimie organique. In-8°. (7332)

Laurancin. — L'Étincelle électrique, son histoire, ses applications, par Paul Laurencin. Ouvrage illustré de 103 grav. In-8°, 229 p. Abbeville, imp. Briez, Paillart et Retaux; Paris, lib. A. Rigaud. (8976)

Marco. — L'unité dynamique des forces et des phénomènes de la nature, ou l'Atome tourbillon; par M. Félix Marco, professeur de physique au lycée Cavour à Turin. In-18 jésus, XII-192 p. Saint-Denis, imp. Lambert; Paris, lib. des Mondes; lib. Gauthier-Villars. 2 fr. 50 cent. (8667)

Actualités scientifiques publiées par M. l'abbé Moignot, 1re série, n° 42.

Schutzenberger. — Les Fermentations; par P. Schutzenberger. Avec 128 fig. dans le texte. In-8°, 283 p. 6 fr. (9889)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

Béguyer de Chancourtois. — De la régularisation des travaux de géologie, de l'association des études de géologie, d'hydrologie et de météorologie, et de l'institution d'un relevé topographique et physique du territoire uniformément détaillé à l'échelle cadastrale de 10,000e; par M. A. E. Béguyer de Chancourtois. In-8°, VI-24 p. et tableau. (3953)

Delaire.—Le Fond des mers, études lithologiques. In 8°, 82 p. (13993)

Chevalier. — Géologie contemporaine, histoire des phénomènes actuels du globe appliquée à l'interprétation des phénomènes anciens; par M. l'abbé C. Chevalier, président de la Société

archéologique de Touraine. 2e *édition*. In-8°, 381 p. avec vign. et 13 pl. (10318)

LOCARD. — Guide aux collections de zoologie, géologie et minéralogie du Muséum d'histoire naturelle de Lyon; par Arnould Locard. In-8°, IV-170 p. (8044)

LORTET et CHANTRE. — Études paléontologiques dans le bassin du Rhône. Période quaternaire; par M. le docteur Lortet et M. E. Chantre. In-4°, 88 p. (6789)

MEUNIER. — Promenade géologique à travers le ciel; par Stanislas Meunier, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle. In-32, 186 p. Saint-Germain, imp. Heutte et Ce; Paris, lib. Sandoz et Fischbacher. 30 cent. (9029)

PÉRON. — Sur quelques points de la géologie du département de Tarn-et-Garonne. Le permien, le lias inférieur et séquanien, le gypse de Varen et les gisements de phosphate de chaux; par M. Alph. Péron. In-8°, 52 p. (11283)

ROUVILLE (de). — Introduction à la description géologique du département de l'Hérault; par Paul de Rouville, professeur de minéralogie à la Faculté des sciences de Montpellier. In-8°, 224 p. et 10 pl. (9886)

VIEILLARD ET DOLLFUS. — Étude géologique sur les terrains crétacés et tertiaires du Cotentin; par M. E. Vieillard, ingénieur au corps des mines, et M. G. Dollfus, memdre de la Société géologique de France. In-8°, 183 p. et 2 pl. Caen, imp. Le Blanc-Hardel. (9137)

ZURCHER et MARGOLLÉ. — Les Glaciers; par Zurcher et Margollé. 3e *édition*, revue et augmentée, illustrée de 45 grav. sur bois. In-18 jésus, 320 p. 2 fr. 25 c. (13616)

4° Mécanique appliquée. — Exploitation et droit des mines.

BÉNAZÉ (de). — Calcul de la déformation d'une carène liquide et des forces auxquelles elle est soumise pendant le mouvement ondulatoire de la houle, pour servir à la théorie du roulis du navire sur mer agitée, suivi d'un exposé succinct de cette théorie; par O. de Bénazé, sous-ingénieur de la marine. In-8°, 46 p. (11059)

DEBAUVE. — Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées, rédigé conformément au programme annexé au décret du 7 mars 1868, réglant l'admission des conducteurs des ponts et chaussées au grade d'ingénieur; par A. Debauve, ingénieur des ponts et chaussées. 15e fascicule. Traité des eaux. 1re partie. Hydraulique. In-8°, 127 p. et pl. (6703)

L'ouvrage formera 15 à 20 fascicules et le prix sera d'environ 200 francs.

LELOUTRE. — Recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur. Mémoire; par M. G. Leloutre. Chapitre II. In-8°, 85 à 156 p. (11225)

MAITRE. — Note sur le calcul du rendement d'une machine à vapeur, d'après la théorie mécanique d'une machine à vapeur; par M. Joseph Maitre, ingénieur des arts et manufactures. In-8°. 15 p. (10122)

RESAL. — Traité de mécanique générale, comprenant les leçons professées à l'Ecole polytechnique; par H. Resal, ingénieur des mines. T. III. Des machines considérées au point de vue des transformations du mouvement et de la transformation du travail des forces. Application de la mécanique à l'horlogerie. In-8°, XIII-500 p. 9 fr. 50 c. (10982)

RETZ (de). — Note sur les machines de traction à vapeur sur les routes ordinaires; par M. de Retz, ingénieur en chef des hauts fourneaux de Saint-Louis. In-8°, 18 p. 4 fr. (10200)

STURM. — Cours de mécanique de l'École polytechnique; par Ch. Sturm, membre de l'Institut. 3e *édition*, revue et corrigée par M. E. Prouhet, répétiteur d'analyse à l'École polytechnique. T. II. In-8°. XI-441 p. L'ouvrage complet, 12 fr. (13015)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

Bois (le) de Boulogne architectural. Choix de constructions élevées dans son enceinte par M. Alphand, ingénieur en chef des promenades et plantations de Paris, par M. Davioud, architecte, inspecteur général des travaux de la ville de Paris. 2e édition, revue et augmentée d'un texte historique et descriptif. In-f°, 19 p. et 38 pl. Paris, imp. Alcan-Lévy; lib. A. Lévy. (17 août.) (8832)

BONNIN. — Mémoire sur la reconstruction du pont d'Andé sur la Seine; par M. René Bonnin, ingénieur civil, agent voyer en chef de l'Eure. In-8°, 51 p. et 2 pl. (9415)

BARRET. — Note sur l'aménagement des ports de commerce; par M. L. Barret, ingénieur de la compagnie des Docks et entrepôts de Marseille, in-8°, VIII-345 p. et 72 pl. (13069)

BATISSE. — Notice sur les travaux de percement du Saint-Gothard; par M. Batisse, élève externe à l'École des ponts et chaussées. In-8°, 31 p. (7558)

BOSC. — Traité complet de chauffage de la ventilation des

habitations particulières et des édifices publics. In-8° avec 250 figures. (6667)

CHABRIER. — Les chemins de fer ruraux proposés par M. Ern. Chabrier, ingénieur civil. I. Ce qu'il faut. II. Comment l'obtenir. 1 fr. (15978)

Chemin de fer sous-marin entre la France et l'Angletrre. Rapports sur les sondages exécutés dans le Pas-de-Calais en 1875. In-4°, 45 p. et 3 plans. (13671)

DEBAUVE. — Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées, rédigé conformément au programme annexé au décret du 7 mars 1868 réglant l'admission des conducteurs des ponts et chaussées au grade d'ingénieur; par A. Debauve, ingénieur des ponts et chaussées. 13° fascicule. Chemins de fer. 14° fascicule. Notions sur la construction des bâtiments. 16° fascicule. Traité des eaux. 2° partie : Distribution d'eau. In-8°, 809 p. et 59 pl. (12498)

DEGHILAGE et MORANDIÈRE. — Les Locomotives à l'Exposition de Vienne en 1873. Notices et dessins. Résumé de documents divers, mis en ordre et complétés par MM. Deghilage et J. Morandière. Précédé d'une note sommaire sur l'exploitation des chemins de fer allemands et autrichiens au point de vue de l'emploi de divers types de locomotives; par M. J. Morandière. Parties 2 et 3. In-f°, 98 p. et 11 pl. Paris, 23 fr. (6705)

DEGLAUDE. — La Loire à Orléans. Régimes d'hiver et d'été. Discussion des observations hydrométriques, depuis 1830, et pluviométriques, depuis 1862; par Deglaude, ingénieur en chef. In-8°, 65 p. et 8 tableaux. (6706)

KRANTZ. — Observations sur les chemins de fer économiques à voie normale et à voie réduite; par J. B. Krantz, ingénieur en chef des ponts et chaussées, sénateur. Gr. in-8°, 111 p. 3 fr. (13483)

MORANDIÈRE. — Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal, pour routes, canaux et chemins de fer; par M. R. Morandière, inspecteur général des ponts et chaussées. 2° fascicule. In-4°, 281-446 p. et pl. 54 à 115. (6805)

VIDARD. — Chemins de fer. Matériel de transport pour voyageurs. Recherche du meilleur système de voiture; par J. B. Vidard. Avec deux grandes planches et quatre figures dans le texte. In-8°, 77 p. Boulogne (Seine), imp. J. Boyer; Paris, lib. J. Baudry, (20 août.) (9380)

6° *Sujets divers.*

Barbier. — La Savoie industrielle ; par V. Barbier, directeur des douanes. 2e partie. Mines et métaux ; chaux, ciments, plâtres, poteries et tuileries ; horlogerie ; industries diverses. In-8°, 756 pl. (10282)

Chabert. — Contribution à l'étude des influences de milieu sur les phénomènes de la vie. Des accidents qu'on observe dans les hautes ascensions aérostatiques et des effets de l'altitude sur les habitants des montagnes ; par le docteur Ed. Chabert, de la Faculté de Paris. In-8°, 51 p. Paris, imp. Brière ; lib. G. Masson. (19 août.) (9182)

Desnos. — Résumé des législations française et étrangères sur les brevets d'invention (Annuaire des inventeurs) ; par Charles Desnos, ingénieur. In-32, 142 p. 13, boulevard Saint-Martin. (10004)

Dupont — Jules Callon, inspecteur général des mines. Discours prononcé sur sa tombe par M. Dupont, inspecteur de l'École des mines. In-8°, 26 p. (6998)

Durassier. — La Navigation aérienne, ses rapports avec la navigation aquatique ; par Henry Durassier. Avec 11 fig. In-8°, 26 p. (10587)

Joube. — Guide manuel sur les abordages, avec de nombreux exemples, à l'usage des capitaines de la marine et des aspirants à ce grade ; par P. M. Joube, professeur d'hydographie. In-8, 46 p. 2 fr. (13186)

Jouvencel (de). — Aide-mémoire du partisan franc-tireur ; par Paul de Jouvencel, ex-colonel d'infanterie auxiliaire. 1re partie. Préparation. Organisation. In-18, 252 p. 2 fr. 50 c. (10089)

Paris. — Traité de tactique appliquée, élaboré d'après le programme prescrit pour les écoles royales de guerre allemandes ; par F. A. Paris, général-major au service de Prusse. 5e *édition*, revue et mise en rappoet avec les principes inaugurés pendant la campagne de 1870-1871. Traduit de l'allemand, annoté et mis en concordance avec les règlements français et belges, par H. C. Fix, major, et F. Timmerhans, capitaine de l'infanterie belge. Avec 3 pl. In-8°, 455 p. 7 fr. (9614)

Pravaz. — Recherches expérimentales sur les effets physiologiques de l'augmentation de la pression atmosphérique ; par le docteur J. C. Pravaz. Gr. in-8°, 66 p. Lyon, imp. Pitrat aîné ; lib. G. Masson. (9082)

Souriau. — Étude sur les revêtements cuirassés ; par F. A. Souriau, chef de bataillon du génie. In-8°. 108 p. (12380)

OUVRAGES ANGLAIS.

HUGHES. *A Treatise on Waterworks*... Traité des distributions d'eau pour les villes.

Reports on the physical... Rapports sur la géologie de la Guyane anglaise, au point de vue physique, descriptif et économique, par Ch. Brown, F. G. S. et G., Sawkins, F. G. S.

CROLL. *Climate and Time*... Le climat et le temps dans leurs rapports géologiques ; théorie des changements séculaires des climats terrestres.

URE'S *Dictionary*... Dictionnaire des arts, des manufactures et des mines, 7ᵉ édition.

VON HOCHSTETTER. *Rotomahana*... Rotomahana et les sources chaudes de la Nouvelle-Zélande.

WILSON. *A Treatise on Steam Boilers*... Traité des chaudières à vapeur.

Manual of the natural History... Manuel de l'histoire naturelle, de la géologie et de la géographie physique de la Grèce et des régions voisines.

Memoirs of the geological Survey... Mémoires du Geological Survey d'Angleterre et du pays de Galles : géologie du Rutland et de parties des comtés de Lincoln, Leicester, Northampton, Huntingdon et Cambridge.

Explication de la feuille 91. S. W. (environs de Blackpool, Poulton et Fleetwood).

HARTWIG. *The subterranean World*... Le monde souterrain.

Transactions of the national Association... Transactions de l'Association nationale pour l'avancement des sciences sociales ; réunion de Glasgow.

TYNDALL. *Six lectures*... Six leçons sur la lumière.

— *The forms of Water*... Les formes de l'eau : nuages, rivières, glace et glaciers.

— *Sound*. Le son.

DAWSON. *Tramways*. Les tramways ; leur construction et leur emploi.

FORNEY. *Catechism of the Locomotive*... Catéchisme de la locomotive.

SPON. *Water Supply*... Alimentation d'eau ; la pratique moderne des fonçages et des puits forés.

Guide to the Geology... Guide pour la géologie de Londres et de ses environs, par William Whitaker.

The Geology of the Weald... La géologie du Weald (parties des comtés de Kent, Surrey, Sussex et Hants), par William Topley.

SEXTON. *Pocket-book for Boiler Makers*... Manuel des fabricants de chaudières à vapeur.

Parliamentary Railways. Return of accidents... Rapport sur les accidents de chemins de fer pour avril, mai et juin 1875.

BRANDE et COX. *A Dictionary*... Dictionnaire des sciences, des lettres et des arts.

DAWSON. *The Dawn of Life*... Le commencement de la vie sur la terre.

BAKER. *The mathematical Theory*... La théorie mathématique de la machine à vapeur.

CLARK. *An elementary Treatise*... Traité élémentaire de la vapeur et des machines à vapeur.

DANA. *Manual of Geology*... Manuel de géologie, 2e édition.

— *A System of Mineralogy*... Système de minéralogie, 5e édition.

SARGEAUNT. *Notes on the climate*... Note sur le climat de la terre, passé et présent.

MAXWEL. *Theory of Heat*... Théorie de la chaleur.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

WALKER. *Statistical Atlas*... Atlas statistique des États-Unis. Washington.

Geological Survey of Missouri... Description géologique du Missouri. New-York.

FOYE. *Tables for the determination*... Tables pour la détermination et la classification des minéraux qui se rencontrent aux États-Unis. Chicago.

Manufactories... Les manufactures et les manufacturiers de Pensylvanie au XIXe siècle. Philadelphie.

BLASIUS. *Storms*... Les orages ; leur nature, leur classification et leurs lois. Philadelphie.

SOUTHALL. *The recent origin of man*... La récente origine de l'homme démontrée par la géologie et par l'archéologie préhistorique. Philadelphie.

OUVRAGES ALLEMANDS.

HARLACHER. *Beiträge zur Hydrographie*... Contributions à l'hydrographie du royaume de Bohême, 3e livraison. Prague.

v. HOCHSTETTER. *Die Erde*... La terre, d'après sa composition, sa structure et sa formation. Prague.

KUNZE. *Meteorologische und hypsometrische Tafeln*... Tables météorologiques et hypsométriques. Dresde.

SCHMIDT. *Studien über Erdbeben*... Études sur les tremblements de terre. Leipzig.

HOYER. *Lehrbuch der mechanischen Technologie*... Traité de technologie mécanique. Wiesbaden.

NEUMANN. *Maschinenbau*... Données pratiques pour la construction des machines, 1er vol. Halle.

POSEPNY. *Geologisch-montanistische Studie*... Études sur la géologie et l'exploitation des gîtes de Rézbánya dans le S.-E. de la Hongrie. Bude-Pesth.

SCHMEIDLER. *Theorie und Praxis*... Théorie et pratique des chemins de fer. Breslau.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, publié et rédigé avec le concours de plusieurs savants; par *H. v. Fehling*, 2e volume, 16e livraison. Brunswick.

MARTINI et CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet*. Collection systématique de coquilles; publiée et complétée par *H. Küster*, avec le concours de Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer, livraisons 235-240. Nuremberg.

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde Deutschlands*. Paléontologie de l'Allemagne. Échinodermes, livraisons 7, 8 et 9. Leipzig.

RUBIEN. *Kurzes Lehrbuch der Chemie*... Petit traité de chimie d'après les nouveaux aperçus de la science, pour les écoles pratiques, les écoles professionnelles, etc., Wriezen.

STUR. *Die Culm-Flora*... Flore du Kulm des schistes ardoisiers de Moravie et de Silésie. Vienne.

HAUSHOFER, PAULUS et R. SCHMIDT. *Handbuch des Eisenbahnwesens*... Manuel des chemins de fer, au point de vue économique, législatif, administratif et technique, livraisons 1 à 14. Stuttgard.

WEISBACH. *Synopsis mineralogica*... Fribourg.

DÜRRE. *Wissenschaftlich-technisches Handbuch*... Manuel scientifique et technique du fondeur en fer, 13e livraison. Leipzig.

BR. KERL. *Grundriss der Eisenhüttenkunde*... Notions fondamentales de la métallurgie du fer. Leipzig.

Br. Kerl. *Grundriss der Eisenprobirkunst...* Notions fondamentales sur les essais de fer. Leipzig.

Schaltenbrand. *Die Locomotiven.* Les locomotives, 1re livraison. Berlin.

v. Brand. *Grundriss der Differenzialrechnung...* Eléments de calcul différentiel, 1re partie. Berlin.

Heintz. *Leitfaden für die qualitative...* Guide pour l'analyse chimique qualitative pour la pratique du laboratoire de chimie de Halle. Halle.

Kopp. *Beiträge zur Geschichte...* Contributions à l'histoire de la chimie, 3e partie. Brunswick.

Zængerle. *Grundriss der Chemie...* Éléments de chimie d'après les nouveaux aperçus scientifiques, à l'usage des écoles professionnelles, commerciales, etc. Munich.

Hagen v. Hagenburg. *Entwurf einer Minentheorie...* Essai d'une théorie du tirage à la poudre et à la dynamite. Vienne.

Handbuch fur specielle Eisenbahn-Technik... Manuel technique des chemins de fer, par *Heusinger v. Waldegg*, 3e vol., 2e partie. Construction des locomotives. Leipzig.

v. Ammon. *Die Jura-Ablagerungen zwischen Regensburg...* Les dépôts jurassiques entre Ratisbonne et Passau. Munich.

Boué. *Einiges zur palæo-geologischen Geographie.* Un mot sur la géographie paléogéologique. Vienne.

Goldenberg. *Fauna Saræpontana fossilis. Die fossilen...* Animaux fossiles de la formation houillère de Sarrebrück, 1re livraison. Sarrebrück.

Brosius et R. Koch. *Die Schule des Locomotiv-führers.* École du mécanicien conducteur de locomotives, 2e et 3e parties. Wiesbaden.

Grashof. *Theoretische Maschinenlehre.* Étude théorique des machines, 1er vol., 5e livraison. Leipzig.

Kerpely. *Bericht über die Fortschritte...* Rapport sur les progrès de la métallurgie du fer dans les années 1871, 1872 et 1873. Leipzig.

Becker. *Die Korallen der Nattheimer Schichten.* Les coraux des couches de Nattheim. Cassel.

Bittner. *Die Brachyuren...* Les brachyures du tertiaire vicentin. Vienne.

Cooke. *Die Chemie der Gegenwart.* La chimie actuelle. Leipzig.

Feistmantel. *Die Versteinerungen...* Les fossiles des couches carbonifères de Bohême, livraisons 1-3. Cassel.

GEINITZ. *Des Elbthalgebirge...* Formations de la vallée de l'Elbe, en Saxe, 1re partie, 7e et 8e livraisons et 2e partie, 5e et 6e livraisons. Cassel.

DELLINGHAUSEN. *Die rationnellen Formeln...* Formules chimiques rationnelles, basées sur la théorie mécanique de la chaleur, 1re partie. Combinaisons inorganiques. Heidelberg.

v. KLIPSTEIN. *Beiträge zur geologischen...* Contributions à l'étude géologique et topographique des Alpes orientales, 2e vol. 2e partie. Giessen.

LANDAUER. *Die Löthrohranalyse.* L'analyse au chalumeau. Brunswick.

Palæontographica..,Matériaux pour l'histoire naturelle du monde primitif, 20e vol, 1re partie, 7e et 8e livraisons; 2e partie, 5e et 6e livraisons; 21e vol., 6e livraison; 22e vol., 6e livraison; 23e vol., livraisons 2-5, et supplément au 3e vol., 1re livraison. Cassel.

BODMER. *Mittheilungen...* Communications sur le puddlage mécanique par le procédé Danks, 3e livraison. Vienne.

MIETZSCH. *Geologie der Kohlenlager...* Géologie des dépôts houillers. Leipzig.

OUVRAGES ITALIENS.

CECCHI. *Nozioni elementari di chimica...* Notions élémentaires de chimie d'après les théories modernes. Florence.

Bollettino industriale... Bulletin industriel du royaume d'Italie. Volume VI. Année 1869. Turin.

DICHIARA. *Sulle proprietà chimiche...* Sur les propriétés chimiques et thérapeutiques des eaux thermo-minérales de Termini-Castroreale. Palerme.

JERVIS. *Sul giacimento del carbon fossile...* Sur le gisement du charbon fossile anthraciteux de Demonte, près Cuneo. Milan.

Il lavoro dei fanciulli... Le travail des enfants et les machines d'extraction dans les soufrières de Sicile. Palerme.

Rendiconto della Societa delle Miniere... Rapport à l'assemblée générale de la Société des mines de cuivre de Poggio Alto, près Roccatederighi. Florence.

LANZILLO. *Locomozione a vapore...* Locomotion à vapeur sur les routes ordinaires, entre la station de Biella et le sanctuaire d'Oropa. Turin.

MENSINI. *La spia sismica*. L'indicateur sismique, nouvel appareil pour avertir des tremblements de terre. Florence.

SILVESTRINI. *Temi di chimica agraria*. Manuel de chimie agricole. Novare.

BOMBICCI. *Corso di mineralogia*. Cours de minéralogie. Volume II; 1re et 2e parties. Bologne.

BONZI. *Idraulica pratica*. Hydraulique pratique. Alexandrie.

MOLINARI. *Trattato elementare*... Traité élémentaire théorique et pratique des constructions mécaniques. 1re partie. Fascicule I. Turin.

NAZZANI. *Idraulica matematica e pratica*. Hydraulique mathématique et pratique. Volume I. Palerme.

OROSI. *Relazione di analisi chimica*... Rapport sur l'analyse chimique de l'eau acidule et ferrugineuse de Poggio Pinsi. Sienne.

SCHNEIDER. *Impresa per la escavazione*... Entreprise pour l'extraction du lignite près de Quarata, province d'Arezzo. Arezzo.

STOPPANI. *La purezza della mare*... La pureté de la mer et de l'atmosphère depuis le commencement du monde animé. Milan.

BIGNAMI-SORMANI. *L'archeologia preistorica*... L'archéologie préhistorique en Italie. Milan.

ALLESSANDRI. *Sull' acqua termo-minerale*... Sur l'eau thermo-minérale de Civita-Vecchia. Rome.

VECCHI. *Sopra un nuovo istrumento*... Sur un nouvel instrument géodésique auquel on pourrait donner le nom d'icnortomètre. Parme.

GUIDOTTI. *Trattato d'algebra elementare*... Traité d'algèbre élémentaire à l'usage des institutions et des écoles techniques. Reggio dell' Emilia.

PRINA-CARPANI. *La quadratura del circolo*.... La quadrature du cercle trouvée par M. Benedetto Plebani au moyen de la spirale d'Archimède. Turin.

FRIEDLANDER. *La teoria economica*... La théorie économique des machines. Milan.

GIANNETTO. *Sulla distillazione*... Sur la distillation de l'acide sulfurique. Messine.

ROSELLI. *Frammenti di matematica*... Fragments de mathématiques pures et appliquées. Ancône.

CAVAZZI. *Analisi chimica completa*... Analyse chimique complète de la pouzzolane de San Paolo di Roma et de la pouzzolane de la maremme toscane. Bologne.

FERRETTI. *Periodo glaciale subapennino*.... Période glaciaire subapennine ou première époque de l'ère néozoïque. Padoue.

FERRETTI. *Pliocene subapennino...* Pliocène subapennin ou dernière période de l'ère cainozoïque. Padoue.

PAGLIA. *Nota geologica...* Note géologique sur les terrains, et notamment sur les terrains tertiaires des environs del Bacino del Garda.

PONZI. *Cronaca subapennina...* Chronique subapennine, ou ébauche d'un tableau général de la période glaciaire. Rome.

MARCHESE. Minerais d'argent en Sardaigne. Gênes.

ANNALES

DES MINES

NOTICE

SUR

LES MINERAIS DE FER DU LAC SUPÉRIEUR

Par M. E. SAUVAGE, ingénieur des mines.

Les riches dépôts de minerais de fer, découverts il y a trente ans sur la rive méridionale du lac Supérieur, non loin de Marquette, sont aujourd'hui l'objet d'une exploitation active, et ces minerais servent à fabriquer des fontes de très-bonne qualité. Rivot, dans ses mémoires sur la région du cuivre du lac Supérieur, en dit quelques mots ; dans le second de ces mémoires (*Annales des mines*, 5ᵉ série, t. X [1856], p. 472), il s'exprime en ces termes :

« Les immenses dépôts de minerais de fer qui existent à l'ouest de Marquette dans les schistes métamorphiques sont exploités depuis longtemps ; cependant les travaux n'ont pris d'activité que depuis le printemps de 1855. A la fin de la saison le port de Marquette avait acquis une grande importance, un chemin de fer était construit jusqu'aux mines principales, et les usines se multipliaient avec une rapidité surprenante.

« Les minerais sont exportés en certaine quantité ou traités sur place dans les bas foyers. Il est probable que

dans peu de temps on établira près de Marquette des hauts fourneaux, des forges et des aciéries, et alors les ressources précieuses de la contrée pourront être convenablement utilisées. »

Ces prédictions se sont en partie réalisées.

Depuis cette époque, le gouvernement du Michigan a fait faire l'étude géologique de cette région : le résultat de ce travail a été publié en 1873 [*Geological Survey of Michigan. Upper Peninsula*, 1869-1873, *accompanied by an atlas of maps. Vol. I, Part I. Iron bearing rocks (economic), by T. B. Brooks*]. J'ai fait, dans le cours de cette notice, de nombreux emprunts à cet ouvrage, et presque tous les renseignements que je donne sur la géologie et l'exploitation des mines en sont extraits.

La partie de l'État de *Michigan*, désignée par le nom de *Upper peninsula*, s'étend entre les lacs Michigan et Supérieur, et est limitée du côté des terres par le Wisconsin. (Voir la carte qui accompagne le mémoire de Rivot, *Annales des mines*, 5e série, t. VII.) Toute cette région, presque entièrement couverte de bois, est peu habitée, sauf en quelques points. Elle renferme les dépôts de cuivre et de fer. Le fer se trouve dans trois districts (voir la carte *fig.* 1, Pl. I, faite d'après celles qui accompagnent l'ouvrage cité) : 1° celui de Marquette, subdivisé en quatre autres, ceux de Negaunee, Michigamme, Escanaba (petit massif isolé, *township* 45, *range* 25) et l'Anse ; 2° celui de Menominee, au sud du précédent ; il n'a pas encore produit de minerais ; 3° celui du lac Gogebic et de la rivière Montreal, sur la limite ouest du Michigan, à peine connu encore. Il n'y a que les districts de Negaunee et de Michigamme qui soient exploités activement jusqu'à présent.

Dès 1636, un livre publié à Paris par La Garde mentionne les minerais de cuivre du lac Supérieur, tandis que ce n'est qu'en 1844 que les grands dépôts de minerais de fer ont été découverts par une expédition de géomètres

relevant le terrain et le divisant (*). Ce sont des déviations de la boussole, atteignant 87°, qui ont fait faire cette découverte. Depuis cette époque, une série de compagnies se sont partagées le terrain ; la plus ancienne est la « *Jackson Co* » (1848) ; deux autres ont été instituées en 1848, puis quelques nouvelles en 1853, entre autres la « *Lake superior Co* » ; et depuis ce moment jusqu'à présent, presque chaque année de nouvelles compagnies minières se sont formées.

Le développement des voies de communication se lie à celui de ces districts miniers. C'est d'abord l'ouverture du canal de Sault-Sainte-Marie, qui réunit les lacs Huron et Supérieur, en juin 1855, canal qu'on est maintenant en train d'agrandir. Le chemin de fer de Marquette à l'Anse, longtemps arrêté à Champion, a été terminé en 1872 ; la même année, la ligne entre Menominee et Escanaba était ouverte, reliant les tronçons de Negaunee à Escanaba et de Chicago à Menominee, de sorte qu'on communique

(*) Les terrains nouveaux sont partagés en carrés par des méridiens et des parallèles espacés de 6 milles (9.660 mètres). Chaque bande E.-O. de 6 milles de large, ainsi déterminée, s'appelle *township*, chaque bande N.-S. *range*. Comme les méridiens vont en se rapprochant vers le nord, on ne peut se servir des mêmes méridiens que sur une longueur assez faible, 60 milles. En s'avançant vers le nord, tous les 60 milles, espace comprenant 10 *townships*, on refait sur un parallèle, appelé *ligne de correction*, une nouvelle division exacte, et l'on obtient ainsi les points de départ des méridiens nouveaux.

Les *townships* sont numérotés du sud au nord, les *ranges* de l'est à l'ouest.

Chaque carré de 6 milles de côté ainsi formé est subdivisé en 36 autres d'un mille de côté, numérotés dans un certain ordre constant, et chaque carré d'un mille, appelé une *section*, en quatre quarts de section.

Les lignes de division sont marquées sur le terrain par des piquets placés aux sommets des carrés ; on fait des entailles sur des arbres voisins et l'on y inscrit les numéros désignant le lieu. A défaut d'arbres, on plante des poteaux ou l'on fait des pyramides de pierres.

par rails sans interruption de la baie de Keweenaw à Chicago.

Sans plus insister sur la partie historique, je passe à la géologie de cette région.

§ Ier. — Géologie et exploitation.

Les terrains qui forment la péninsule supérieure du Michigan sont, en commençant par le plus moderne (voir la carte *fig.* 1, Pl. I, et celle qui accompagne le mémoire de Rivot, *Annales des mines*, 5e série, t. VII) :

1° Le silurien inférieur, couvrant 10.000 milles carrés (26.000 kilom. q.) et formant tout le pays à l'est du méridien de Marquette; ce terrain se trouve aussi en une large bande au sud-est de la région du cuivre (pointe de Keweenaw);

2° Les terrains cuprifères (1.200 milles carrés = 3.100 kilom. q.), formant une bande au nord-ouest de la péninsule (pointe de Keweenaw, Ontonagon river);

3° Les terrains ferrifères, correspondant au système *huronien* du Canada (2.000 milles carrés = 5.100 kilom. q.), formés de couches plissées de diorites, quartzites, schistes et minerais de fer (hématites, magnétites et limonites). Ils s'étendent de la baie de Keweenaw à la rivière Menominee, avec ramifications vers l'est, entre autres une sur Marquette. Ils forment aussi une bande depuis le lac Gogebic jusqu'à la rivière de Montreal ;

4° Le terrain laurentien (1.800 milles carrés = 4.600 kilom. q.), formé de roches gneissiques, en lambeaux étendus à l'ouest et au sud de Marquette, entre le silurien et l'huronien, et au sud du comté d'Ontonagon.

Les roches du terrain silurien sont des grès et des calcaires. On trouve, dans les environs de la région ferrifère, le *calcaire de Trenton*, au-dessous les *grès calcifères* et enfin le *grès de Potsdam*, trois des cinq subdivisions du silurien

inférieur. Les grès qui forment les *pictured rocks* appartiennent vraisemblablement à cet étage, bien que quelques géologues les ait crus triasiques.

Le terrain silurien forme des plateaux horizontaux avec quelques coupures verticales dans les vallées ou sur les rives du lac.

Le terrain *huronien* est coupé d'une série de collines et de montagnes. Le minerai de fer se trouve souvent en masses détachées à la surface du sol (*boulders*), à une distance plus ou moins grande de son gisement, et ces *boulders* sont souvent des indices utiles pour les explorateurs. Quelques-unes de ces masses sont même exploitables, car il y en a qui atteignent le poids de 100 tonnes. Le minerai en place forme des couches plus ou moins régulières. On distingue, parmi ces minerais, les espèces et variétés suivantes :

(*a*) Hématites rouges (*red specular ore*);

(*b*) Oxyde magnétique;

(*c*) Minerais mêlés, ou de seconde classe (*mixed ore*), qui appartiennent à l'une des deux espèces précédentes;

(*d*) Hématites brunes (*soft hematite*);

(*e*) Minerais en dalles (*flag ores*), correspondant aux *mixed ores* (*c*), dont ils diffèrent par la structure;

(*f*) Minerais magnétiques spéculaires, mélange d'oxydes rouge et noir.

(*a*) Les hématites rouges sont schisteuses ou grenues. Dans ce dernier cas, les grains sont octaédriques et paraissent provenir de la suroxydation de l'oxyde magnétique. Une partie souvent notable du minerai broyé est d'ailleurs attirable à l'aimant.

(*b*) L'oxyde magnétique est encore plus grenu et souvent friable. On trouve parfois associé à cet oxyde de la pyrite de fer, mais elle est facile à séparer.

(*c*) Les minerais de seconde classe résultent d'un mélange intime d'oxydes de fer avec un quartz ferrugineux

rougeâtre (appelé *jasper*), en petites lamelles. On ne les exploite pas quand ils contiennent moins de 50 p. 100 de fer métallique.

(*d*) Les hématites brunes, généralement mélangées à des schistes, sont très-tendres. On y trouve associées de la pyrolusite (il y a souvent jusqu'à 5 p. 100 de manganèse dans ce minerai) et une argile blanche (kaolinite).

(*e*) Les *flag ores* sont des schistes ferrugineux plus ou moins riches, très-siliceux.

Les roches autres que les minerais de fer sont des schistes siliceux plus ou moins ferrugineux, parfois chloritiques; des diorites à grain plus ou moins fin, et des schistes dioritiques; des schistes magnésiens (chloritiques); des quartzites; des roches calcaires et dolomitiques (rares); des grès; des schistes argileux, quelquefois avec matières charbonneuses.

Les deux seuls districts où l'exploitation soit active, comme je l'ai dit plus haut, sont ceux de Negaunee et Michigamme; j'en donne une carte détaillée (*fig.* 2, Pl. I) d'après celle de l'ouvrage de M. Brooks, indiquant les principaux gîtes.

L'un de ceux dont la structure se comprend le plus aisément est celui qu'on exploite à la mine *Champion*, 33 milles (53 kil.) O. de Marquette. La direction des couches est O., quelques degrés S. à E. quelques degrés N., et le plongement est de 68° vers le nord. Le minerai forme une grande lentille, qui s'amincit et n'est plus exploitable à l'est et à l'ouest de la mine. La partie est du gîte renferme de l'oxyde magnétique à grain fin, la partie ouest de l'hématite rouge schisteuse (*slate ore*). L'épaisseur de cette couche dépasse 10 mètres en certains points.

La masse entière n'est d'ailleurs pas du minerai pur; elle contient une série de lentilles de minerais de seconde classe (*mixed ore*) et de schistes chloritiques. Le toit du gîte, au nord, est un quartzite gris; au sud, le mur est

une roche quartzeuse imprégnée de fer (*jasper*), puis une diorite. Au sud de la diorite, on rencontre un schiste siliceux, et, au delà d'un marais qui masque le terrain, les gneiss laurentiens.

Les mines Spurr et Michigamme, à quelques milles O.-N.-O. de la précédente, sur la rive nord du lac Michigamme, présentent les mêmes couches, mais dans l'ordre inverse (du sud au nord) et avec plongement vers le sud : c'est l'autre côté du même bassin. (Voir la coupe *fig.* 3, Pl. I.)

Aux mines Washington et Edwards, à l'est de la mine Champion, on voit également la succession des mêmes roches.

La *Republic Mountain*, à 8 milles (13 kilom.) au sud de la mine Champion, montre encore les mêmes roches formant un bassin isolé au milieu du laurentien : les couches y sont disposées en fer à cheval et les dépôts de minerais sont très-riches et abondants. Le minerai est de l'hématite rouge, de l'oxyde magnétique et du *mixed ore;* il est compris entre le quartzite et les roches de quartz ferrugineux dites *jasper* reposant sur la diorite. C'est ce qu'on voit sur la coupe (*fig.* 4, Pl. I).

Au sud-ouest de la mine Champion, sur la rivière Michigamme, les mines Magnetic, Cannon et Chippewa sont ouvertes dans un massif de minerai magnétique, très-dur et à grain très-fin, que M. Brooks croit beaucoup plus près géologiquement du laurentien que les précédents.

Toutes les mines dont je viens de citer les noms sont dans le district de Michigamme. Dans le district de Negaunee on trouve d'abord à l'ouest les mines Saginaw et New-England, ouvertes dans des couches disposées comme celle de la mine Champion. Passant quelques mines moins importantes, on arrive à la grande mine du lac Supérieur, ouverte, avec la mine Barnum, dans des couches très-plissées et très-tourmentées, dont il serait difficile de décrire

ici la disposition, à moins de reproduire la carte à grande échelle et les coupes nombreuses qui accompagnent l'ouvrage de M. Brooks, qui n'a même pas pu, dans certaines parties de cette mine, suivre nettement les diverses couches, tant elles sont embrouillées.

A 2 milles (3 kilom.) à l'est de la mine du lac Supérieur est la mine Jackson, dont les travaux présentent également une assez grande complication. Ces travaux sont des excavations à ciel ouvert, à parois verticales; des tunnels à un niveau inférieur servent à l'enlèvement du minerai. J'en donne une coupe (d'après M. Brooks, *fig.* 5, Pl. I).

Au sud de cette mine, on exploite de nombreux dépôts d'hématite brune manganésifère. Tout autour de Negaunee, les recherches et les exploitations sont nombreuses.

Enfin, à 5 milles au sud de la mine Jackson, sont les mines de la *Cascade range*, où l'on exploite un minerai en dalles (*flag ore*) siliceux, appartenant à la base du terrain huronien.

Dans le petit district d'Escanaba, une seule mine est ouverte, la mine Smith, sur un gîte d'hématite brune, au milieu de schistes argileux noirs.

Dans le district de l'Anse, on exploite à la mine Taylor de l'hématite brune (44 à 57 p. 100 de fer); à 60 mètres au sud, on trouve une couche de minerai de fer et de manganèse contenant jusqu'à 44 p. 100 de l'oxyde de ce dernier métal. Les roches adjacentes sont des schistes argileux et de la diorite.

Au N.-E. de cette mine, il y a des exploitations de schistes ardoisiers du même terrain, où l'on voit des traces de minerai de fer.

Les minerais de fer se trouvent dans la région de la rivière Menominee en deux bandes séparées par une large étendue de granite laurentien.

La bande du sud présente des affleurements d'une couche de minerai magnétique très-régulière, qu'on peut

suivre sur une longueur de 16 milles (26 kilom.), selon une direction N. 74° O. Au nord de cette couche, et en dessous géologiquement, est une couche de marbre impur, sous laquelle on trouve des traces moins continues d'une seconde couche de minerai, et enfin un large banc de quartzite. Au-dessus de la première couche de minerai indiquée et au sud, il y a des schistes chloritiques, des schistes argileux et de la diorite.

La bande du nord, moins longue, est dirigée E.-O. et renferme des minerais magnétiques et spéculaires.

Les influences des dépôts de minerais magnétiques sur l'aiguille aimantée sont très-puissantes; M. Brooks en a fait une étude très-détaillée. La question est intéressante non-seulement au point de vue théorique, mais aussi au point de vue pratique, car dans les recherches de minerai on se sert beaucoup de l'aiguille aimantée. L'instrument qu'on emploie est une boussole d'inclinaison, dont l'aiguille est lestée de manière qu'elle se tienne horizontalement sous l'action de la terre seule, sans attractions locales. On observe l'angle d'inclinaison et l'on compte le nombre des oscillations de l'aiguille pendant une minute, pour évaluer l'intensité de la force attractive.

L'aiguille aimantée ne suffit d'ailleurs pas pour déterminer la richesse d'un gîte et indiquer s'il est exploitable : il faut pour cela des fouilles.

Le minerai de fer s'exploite le plus souvent à ciel ouvert; les travaux souterrains sont en général peu étendus. Cependant la mine Champion a été ouverte par puits et galeries; il est vrai que l'enlèvement des massifs supérieurs a transformé les travaux souterrains en travaux à ciel ouvert. On fait souvent des découverts considérables (quelquefois jusqu'à 12 mètres d'alluvions et 12 mètres de quartzite) pour mettre à nu des couches de minerai. Il faudra cependant un jour, quand les affleurements seront épuisés, arriver à faire des travaux souterrains réguliers. On se trou-

vera là en présence d'un problème d'exploitation assez compliqué, à cause de l'épaisseur variable des couches, qui passent souvent brusquement de 0 à 15 mètres; de leurs changements fréquents d'inclinaison et de leurs plissements; de la nature du toit, qui est souvent un schiste tendre et ébouleux quand on n'atteint pas le quartzite. Mais ce problème n'a guère été abordé jusqu'ici et l'on s'en tient encore, autant que possible, aux excavations à ciel ouvert, parce que le travail des mineurs y est plus facile et qu'elles n'exigent pas de grands travaux préparatoires, tels que puits et galeries. De plus la grande hauteur des chantiers d'abatage permet d'obtenir un effet aussi grand que possible de la poudre qu'on brûle. On fait à la base des trous de mine de $0^m,05$ de diamètre, profonds souvent de $4^m,50$, quelquefois de $6^m,50$ et 8 mètres. On commence par y introduire de faibles charges de poudre qu'on enflamme, de manière à produire une petite cavité au fond du trou. Dans cette cavité on loge une forte charge de poudre, quelquefois 500 lbs. (225 kilog.), fréquemment 125 à 250 lbs. (50 à 100 kilog.), et l'explosion fait tomber une très-grande masse, jusqu'à 5.000 tonnes. Il est vrai qu'il faut encore faire des trous de mine et brûler de la poudre pour diviser les gros blocs ainsi détachés.

Le prix de revient de la tonne (de 1.016 kilog.) de minerai dur (*hard ore*) était en moyenne, d'après M. Brooks, de $ 2,64, soit 12 francs, en 1871, non compris les intérêts et amortissements de capitaux, frais de vente, assurances, etc., qui élèveraient ce prix de revient à $ 3,50 (soit $15^f,80$). Depuis cette époque ce prix de revient n'a guère changé; le prix de la main-d'œuvre a bien un peu diminué, mais d'autre part, dans bien des mines, l'exploitation est devenue un peu plus difficile à cause de la profondeur.

A la mine de Persberg, en Suède, d'après le professeur Richard Akerman, de Stockholm, à la même époque le prix

de revient était de $ 2,20 (10 fr.) par tonne de minerai. La différence est peu considérable. Le prix de revient de la mine de Persberg est parmi les plus élevés de Suède.

Ce prix de $ 2,64 se décompose comme il suit :

1° *Travaux de préparation* (*Dead work*), comprenant les recherches de minerai nécessaires d'année en année, le foncement de puits, le percement de galeries et tunnels, l'établissement de routes, l'exécution du découvert du minerai et divers menus travaux tels que pose de voies de roulage, construction de clôtures, etc. : $ 0,74 (5f,35) par tonne, ou 28 p. 100 du prix total.

Les travaux de recherche consistent en petits puits à la surface du sol et en trous de mine de 4m,50 et plus de profondeur. A la mine du lac Supérieur, on a employé avec succès le perforateur à diamants, avec lequel on a foré un trou de 40 mètres, moyennant $ 5 (22f,50) le pied (0m,30), en obtenant une série de noyaux solides.

Pour foncer les puits d'exploitation on paye les ouvriers de $ 15 à 40 (70 à 170 fr.) selon la nature du terrain, et le puits doit avoir au moins 1m,80 sur 1m,20, mais il est souvent beaucoup plus large.

Une galerie de 1m,20 sur 2m,10 coûte de $ 20 à 25 (90 à 110 fr.) le pied; un tunnel, d'une section suffisante pour être parcouru par les wagons de chemin de fer et de petites locomotives (comme à la mine Washington, à la mine Jackson, etc.), coûte de $ 30 à 50 (140 à 220 fr.) le pied, non compris la voie.

Les routes pour le transport du minerai reviennent souvent à un prix assez élevé, parce que le pays est très-accidenté.

Le travail de découvert, souvent considérable, se paye au *yard* cube (0mc,76) $ 0,50 (2f,25) pour les terres et quelquefois jusqu'à $ 3 (12 fr.) pour les roches dures. En admettant qu'on ne doive pas dépenser plus de $ 0,50 par tonne de minerai pour ce travail et qu'un yard cube de

minerai en rende 3 tonnes, on calcule aisément quel est le découvert qu'on peut faire : c'est, au prix moyen de $ 1,50 (6f,75) par yard cube de roc, une épaisseur de roc égale à celle du minerai à découvrir ou trois fois cette épaisseur de terre.

L'endroit où l'on dépose les déblais provenant de ces découverts doit être choisi avec soin ; autrement il peut arriver qu'on ait plus tard à déplacer ces déblais,— cela s'est vu dans plusieurs mines de la région de Marquette. — On peut remplir avec ces déblais d'anciennes excavations lorsqu'on est bien sûr de les avoir complétement épuisées.

2° *Abatage du minerai :* $ 1,05 (4f,70) ou 40 p. 100 du total. Ce travail se fait à l'entreprise, les ouvriers devant livrer le minerai (et les déblais) chargés en wagonnets ou charrettes ; on leur fournit la poudre et les outils. Le prix payé par tonne de minerai varie de $ 0,60 à 1,60 (2f,70 à 7f,20). Le plus souvent plusieurs hommes prennent l'entreprise en commun et pour un mois.

Ils ont d'abord à percer de grands trous de mine dans la masse solide, comme je l'ai dit plus haut. Pour faire ce travail, on emploie de grands fleurets ayant 0m,05 de largeur au bout. Trois hommes travaillent à la fois, l'un tenant et tournant le fleuret, les deux autres le frappant avec des marteaux de 8 lbs. (3kil,5); ils donnent environ trente-six coups par minute et font 9 à 11 pieds par jour (2m,75 à 3m,35).

Quelquefois, pour les trous très-profonds, on fait usage de fleurets encore plus gros, tenus par deux hommes et frappés par trois.

Il faut ensuite percer des trous de mine dans les blocs détachés et les diviser à la poudre. C'est un travail parfois considérable.

Lorsque les blocs ne sont plus trop gros on les brise avec de lourds marteaux, puis on les trie et les charge dans les véhicules qui les enlèvent.

3° *Fournitures des mineurs :* $ 0,31 (1f,40) ou 12 p. 100 du total. C'est la poudre et les outils fournis aux ouvriers. On fait usage de poudre ordinaire et un peu de poudre à base de nitroglycérine dans les roches aquifères.

4° *Transport du minerai aux wagons de chemin de fer et épuisement :* $ 0,41 par tonne (1f,85) ou 16 p. 100 du total.

C'est ordinairement la même machine qui sert à l'extraction et à l'épuisement.

L'emploi des chevaux a notablement diminué à mesure que les mines s'approfondissaient; pendant longtemps on a amené par des plans inclinés les charrettes au fond des mines, méthode d'extraction très-coûteuse et qui provenait des habitudes prises au début, quand les mines étaient peu profondes. On a aussi beaucoup employé les chevaux dans des manéges pour l'extraction; mais les machines à vapeur les remplacent aujourd'hui presque partout.

Pour charger le minerai dans les wagons de chemin de fer, on se contente parfois de l'amener sur un quai élevé; d'autres fois on fait usage de plans inclinés ou de trémies munies de trappes au-dessous desquelles les wagons viennent se remplir.

En hiver, la navigation sur le lac étant interrompue, on accumule le minerai sur le carreau des mines.

L'extraction se fait au moyen de vases en tôle appelés *skips* (*fig.* 1 et 2, Pl. II). La partie supérieure, ouverte, est horizontale, tandis que les roues portent sur les guides inclinés du puits. Le câble, en fil de fer, s'attache à la traverse de l'étrier mobile autour d'un axe. Les roues n'ont pas d'essieux, car ils traverseraient la caisse. Cette caisse est en tôle de 0m,01, doublée au fond et sur la paroi voisine des guides ou rails. Ceux-ci s'élargissent à leur extrémité supérieure, de sorte que, lorsque le *skip* arrive en haut de sa course, les roues antérieures cessent de porter, tandis

que les roues postérieures, plus larges, ne quittent pas les guides, et l'appareil bascule automatiquement et verse son contenu sur une glissière.

Les machines d'extraction sont généralement à un cylindre horizontal, commandant les tambours par l'intermédiaire d'engrenages et faisant mouvoir les pompes à l'aide d'une longue bielle et d'un renvoi de sonnette.

Dans les puits verticaux on fait usage de petites bennes cylindriques, qu'on pose sur des wagons plats pour les amener aux chantiers mêmes.

L'exploitation des hématites brunes, beaucoup plus tendres que les hématites rouges et les oxydes magnétiques, est moins coûteuse.

A la tête d'une mine se trouvent un agent chargé de l'administration générale et de la comptabilité et un directeur chargé de tout le travail technique ; le directeur a parfois un second. Le nombre des ouvriers de certaines mines est considérable, comme le montre le tableau suivant, qui indique les diverses classes d'hommes employés dans une des mines du lac :

Hommes à l'entreprise pour travaux préparatoires.	77
Hommes à la journée pour travaux préparatoires.	65
Mineurs, à l'entreprise.	177
Charpentiers.	6
Forgerons et aides.	17
Conducteurs de chevaux, etc.	20
Mécaniciens, chauffeurs.	11
Hommes chargeant le minerai mis en tas.	18
Directeur et aides.	3
Contre-maîtres.	6
Total.	400

En hiver, le nombre d'hommes est réduit.

On travaille, soit de jour seulement, soit par doubles

postes, de jour et de nuit. Les travaux à l'entreprise se font par groupes de 12, 6 ou 3 hommes, qui reçoivent tous la même somme. On leur fournit les matières de consommation suivant un tarif.

Le prix de la main-d'œuvre à la journée était, en 1874, d'environ $ 1,50 (7 fr.) pour les manœuvres, et $ 2 à 2,50 (9f,40 à 11f,80) pour les ouvriers spéciaux. A la même époque, on a payé à la mine Champion pour l'abatage de près de 2.000 tonnes de minerai :

$ 600 (fr. 2.840) aux hommes,
$ 358 (fr. 1.690) fournitures.

Et pour le cassage et le roulage intérieur,

$ 300 (fr. 1.410).

C'est un prix très-bas comparé à celui que j'ai donné plus haut ; les circonstances étaient très-favorables.

Parmi les ouvriers, il y a beaucoup d'Irlandais et d'Anglais du Cornouailles, un assez grand nombre de Suédois, puis des Canadiens Français, des Allemands, etc.

La production de minerai de fer de la région de Marquette depuis 1854 jusqu'en 1873 est donnée par le tableau suivant :

	tonnes.		tonnes.
1854	3.000	1864	240.000
1855	1.500	1865	187.000
1856	7.000	1866	290.000
1857	26.000	1867	457.000
1858	23.000	1868	510.000
1859	69.000	1869	630.000
1860	114.000	1870	860.000
1861	50.000	1871	813.000
1862	124.000	1872	952.000
1863	200.000	1873	1.167.000

Plusieurs mines produisent chacune à elle seule plus de 100.000 tonnes par an.

Ainsi en 1873 :

	Produit en tonnes.
La mine Jackson	113.000
— Cleveland	132.000
— Lake Superior	170.000
— Republic	105.000

Viennent ensuite :

La mine New-York	70.000
— Champion	72.000
— Barnum	50.000
— Washington	40.000
— Lake Angeline	44.000

Une petite partie seulement du minerai est traitée sur place : presque tout est expédié par les lacs dans l'Ohio et la Pennsylvanie. Les installations pour l'embarquement des minerais sont considérables et très-dignes d'intérêt.

Le minerai est transporté aux ports d'embarquement (Marquette, l'Anse, Escanaba), dans de petits wagons à quatre roues ; ce sont des caisses en tôle, en forme de tronc de pyramide renversé, avec trappes dans le fond. Les parois et le châssis supportant ces caisses sont en madriers de chêne. Les roues sont en fonte et le wagon est suspendu sur des ressorts en caoutchouc, contenus dans des cylindres en fonte dans lesquels pénètrent d'autres cylindres à base pleine. Il y a un appareil unique de choc et de traction à chaque bout; au milieu les trappes sont maintenues fermées par des tiges verticales fixées à une poutrelle transversale, à la partie supérieure du wagon.

Le poids à vide est de 3^t,5 et la contenance de 8 tonnes de minerai. Le prix d'un de ces wagons est de $ 325 (1.650 fr.).

Les pentes du chemin de fer, sur Marquette et sur l'Anse, sont fortes, mais elles ne sont remontées que par des trains vides.

La distance de Marquette à Negaunee est de 12 milles (19^k,5) celle de Negaunee à Michigamme de 25 1/2 (41 kilom.),

et celle de Michigamme à l'Anse de 25,3 ($40^k,7$), total 62,9 milles ($101^k,2$). La distance d'Escanaba à Lake Angeline (près Negaunee) est de 67 milles (104 kilom.). La compagnie du chemin de fer de *Marquette, Houghton* et *Ontonagon* (Marquette à l'Anse) possédait, en mai 1874, 30 locomotives et 1.600 wagons à minerai.

Le prix du transport par rails est de 4 à 5 *cents* ($0^f,19$ à $0^f,23$) par mille ; c'est un prix assez élevé, mais le chemin de fer n'a pas de transports en hiver à cause de l'arrêt de la navigation.

Le chargement des bateaux se fait le long de grandes jetées en bois perpendiculaires au rivage, ou *docks*, sur lesquelles arrivent les trains. Les wagons sont amenés au-dessus de poches destinées à contenir le minerai, et on les vide en ouvrant les trappes inférieures. De ces poches le minerai passe dans les navires au moyen de glissières.

Les *fig.* 6, 7 et 8, Pl. I, représentent le dock de l'Anse. Ce dock a 165 mètres de longueur, 11 mètres de largeur et $11^m,50$ de hauteur au-dessus du niveau des basses eaux. Il se compose de 43 travées. Les fondations sont formées de pilotis, coupés à $0^m,90$ au-dessus de l'eau. Les diverses pièces de charpente ont $0^m,30$ sur $0^m,30$. Les poches à minerai et le minerai qu'elles renferment sont supportés par des poteaux spéciaux accolés à ceux de la charpente principale. Il y a 84 poches, 40 de chaque côté et 4 au bout. Chacune contient environ 75 tonnes. On peut charger cinq navires à la fois. Les poches sont de hauteur un peu variable au-dessus de l'eau, et les glissières sont aussi de longueurs différentes, pour la facilité du chargement.

Les glissières sont en planches de $0^m,05$ recouvertes de tôle de 8 millimètres. On les élève et les abaisse avec un treuil. Les poches sont revêtues d'un double cours de planches de $0^m,075$.

Il y a trois voies sur l'estacade : les deux voies latérales servent aux wagons pleins, celle du milieu aux wagons

vides ; au bout il y a un chariot pour faire passer les wagons d'une voie sur l'autre.

A Marquette, il y a deux estacades de ce genre ; la plus longue a 373 mètres de longueur totale, dont 220 mètres accessibles aux navires, et l'on devait la prolonger en 1875 de 150 mètres ; la hauteur au-dessus du lac est de 12 mètres, la largeur au sommet de 16 mètres : il y a quatre voies, communiquant au bout de la jetée par un chariot. Cette estacade renferme 136 poches à minerai, dont 120 contiennent 55 tonnes et 16, 100 tonnes. On peut charger huit bateaux à la fois ; on a embarqué en un seul jour 6.000 tonnes. Un navire d'une capacité de 500 tonnes peut être chargé en une heure un quart, et un de 700 tonnes en $1^h,35$.

On y a embarqué en 1872 (du 12 mai au 25 novembre) 300.000 tonnes de minerai, dont 75.000 à bord de bateaux à vapeur, et le reste à bord de voiliers. Le tonnage moyen des bateaux est de 650 tonnes (de 400 à 100) : les voiliers dominent, ce sont pour la plupart des trois-mâts goëlettes. Assez souvent un voilier et un vapeur naviguent de conserve, le vapeur remorquant l'autre au besoin.

Ce dock appartient au chemin de fer. On fait payer 20 cents ($0^f,85$) par tonne de minerai, pour frais d'embarquement. Sur chaque poche sont inscrits la nature du minerai et le nom de la mine d'où il provient. La plupart des bateaux vont à Cleveland, sur le lac Érié ; le fret est de $\$$ 2,50 à 3 ($11^f,30$ à 14 fr.) par tonne.

Il y a aussi à Escanaba un dock important.

On a embarqué en 1874 :

	tonnes.		tonnes.	
A Marquette,	424.000	de minerais et	26.500	de fonte.
A Escanaba,	280.000	—	13.000	—
A l'Anse,	86.000	—		

Et au fourneau de Grand-Island, 12.000 tonnes de fonte.

(C'est, en tout, 261.000 tonnes de moins qu'en 1873.)

§ II. — Métallurgie.

La composition moyenne des minerais, d'après le livre de M. Brooks, qui contient les résultats d'un grand nombre d'analyses, est la suivante :

	Hématites.	Magnétites.	Limonites.	Flag ores.
Protoxyde de fer		19,64		
Sesquioxyde de fer	90,52	67,76	75,75	70,98
Oxyde de manganèse	traces.	0,13	0,80	traces.
Alumine	1,39	2,13	1,54	2,01
Chaux	0,70	0,68	0,36	0,45
Magnésie	0,42	0,60	0,29	0,20
Soufre	0,05	0,13	0,11	0,03
Acide phosphorique	0,28	0,20	0,15	0,13
Silice et quartz	5,89	7,83	14,04	25,12
Eau combinée			3,94	
Eau non combinée			1,18	
Eau totale	0,77	0,86		1,03
Matières volatiles			1,81	
	100,00	100,00	100,00	100,00
Fer	62,91	62,93	52,65	49,33
Phosphore	0,11	0,08	0,08	0,05
Soufre	0,05	0,13	0,11	0,03
Manganèse	traces.	0,09	0,56	traces.
Poids spécifique	4,74	4,59	3,88	4,09

Le combustible employé dans les hauts fourneaux est le charbon de bois (il y a cependant à Marquette un haut fourneau au coke et un à l'anthracite. On a fait aussi des essais de tourbe mélangée au coke). Le charbon de bois se fait dans des fours ou *kilns*, ayant ordinairement la forme de ruches d'abeille, parfois aussi rectangulaires et étayés extérieurement par des pièces de charpente. Les *fig.* 9 et 10, Pl. I, représentent un *kiln* de la première sorte. Il se compose d'un soubassement circulaire en moellons supportant une voûte en briques. Il y a deux portes, l'une en haut, dans la voûte, pour le chargement, l'autre en bas pour le défournement. Ces portes sont fermées pendant la combustion par des plaques en fer lutées. A la base du soubassement se trouvent tout autour trois rangées d'ouvertures de la grandeur d'une brique qu'on bouche à volonté avec des

briques ; elles sont distantes l'une de l'autre de 0^{m},50. L'extérieur du four est revêtu d'un enduit de chaux, qu'on refait tous les ans. En outre, avant chaque calcination, on recouvre tout le four d'un lait de chaux.

On charge à la fois 25 à 40 *cordes* de bois, selon la dimension du four, en moyenne 35. Une *corde* = 128 pieds cubes = 3^{stères},6. Le bois (sapin et érable) est en grosses bûches qu'on dispose en rangées parallèles jusqu'au sommet, de manière à remplir complétement le four. A la base on ménage un conduit entre les bûches, allant de la porte au centre : au centre même on met quelques charbons mal cuits d'une autre opération ; on en dispose aussi en divers points de la masse pour les recuire. Trois hommes font ce chargement : deux apportent et jettent les bûches dans le *kiln*, le troisième les y dispose. Ce travail dure deux ou trois jours.

Le chargement étant fait, on lute la porte supérieure, on allume la masse par le conduit réservé en bas, et on lute la porte inférieure. Puis on débouche les orifices voisins de cette porte des deux côtés. A mesure que l'opération s'avance, on débouche des orifices de plus en plus éloignés de la porte en refermant les plus rapprochés, de proche en proche. La cuisson dure ainsi six jours. Alors on ferme tous les ouvreaux et on laisse refroidir pendant quelques jours ; puis on défourne. Le charbon remplit le four à peu près jusqu'à la naissance de la voûte de briques ; 35 *cordes* de bois donnent 120 *bushels* de charbon (126 stères donnent 437 hectolitres, ou un stère 3,5 hectolitres).

Les *kilns* sont rangés par groupes, adossés à de petites terrasses pour le chargement, les uns près des hauts fourneaux mêmes qu'ils alimentent, les autres en divers points des forêts adjacentes.

Le charbon est fait, soit par des entrepreneurs, soit au compte de l'usine. Par exemple, aux fourneaux de *Pioneer* on payait en 1874 aux entrepreneurs 12 *cents* par *bushel*

(1^f,56 par hectolitre) rendu à l'usine, pour frais de fabrication et de transport (non compris le prix du bois; les usines possèdent généralement des forêts assez étendues).

Au haut fourneau de *Morgan*, les frais de fabrication étaient les suivants :

	La corde de bois.		Le stère.
Abatage des arbres.	$ 0,50	ou Fr.	0,65
Découpage des arbres abattus. .	$ 1,00	—	1,30
Transport.	$ 1,25	—	1,65
Total.	$ 2,75	—	3,60

soit, pour un rendement de 34,5 bushels à la corde (3,5 hectolitres par stère), 8 cents par bushel de charbon ou 1^f,015 par hectolitre de charbon. Vient ensuite :

	Par bushel.		Par hectolitre.
Remplissage des *kilns*, défournement et chargement en charrettes. .	2 1/4 à 2 1/2	cents ou Fr.	0,30 à 0,32
Transport en charrettes. .	1 —	—	0,13
Manipulation aux tas de dépôt.	1/4 —	—	0,035
Total. . . .	11 1/2 à 11 3/4	cents ou Fr.	1,78 à 1,50

par hectolitre.

Les forêts s'épuisent rapidement autour des usines; ainsi, pour les deux hauts fourneaux de l'usine Pioneer, on détruit par an 800 acres de bois (324 hectares).

La castine est rare; dans quelques usines on emploie des calcaires dolomitiques qui se trouvent (assez rarement) dans le terrain environnant; dans d'autres, on fait venir le calcaire, par bateaux, de carrières situées dans les îles du lac Huron; il se vend jusqu'à $ 4 (18^f,60) la corde (3^{mc},6) à Marquette.

Les hauts fourneaux ont de 12 mètres à 13^m,50 de hauteur, avec 2^m,75 ou 2^m,90 de diamètre au ventre. Il y en a un à Escanaba de 17 mètres de hauteur et 3^m,60 de diamètre au ventre. Celui au coke de Marquette a 19 mètres de hauteur

et $4^m,60$ de diamètre au ventre, et celui à l'anthracite $18^m,30$ et $5^m,20$.

La *fig.* 7, Pl. II, représentant un haut fourneau à grand massif extérieur en pierres, les *fig.* 5 et 6, un fourneau à enveloppe de tôle (établi à Appleton, Wisconsin; celui de Morgan près Marquette est semblable), donnent une idée des profils de ces appareils. Dans le fourneau de Negaunee (*fig.* 7), le creuset est construit en grosses pierres de grès, venant du Massachusetts. Le fond est fait en grès de Cleveland. Il y a trois tuyères de $0^m,10$ de diamètre.

Il y a ordinairement, dans les hauts fourneaux de cette région, des prises de gaz latérales, le gueulard restant ouvert; il est surmonté d'une cheminée, avec portes de chargement. Parfois aussi il est fermé par l'appareil dit *cup and cone.* L'air est chauffé, dans des appareils en fonte, par les gaz du fourneau. Au *Pioneer furnace*, l'appareil est établi au niveau même du gueulard.

Les machines soufflantes sont généralement mues par la vapeur. Ainsi au Pioneer furnace, pour deux hauts fourneaux, il y a : 1° une machine horizontale, à cylindres de $0^m,45$ et $1^m,83$ de diamètre respectivement, avec course de $1^m,80$; elle fait vingt tours par minute; la pression de la vapeur étant de 63 lbs ($4^k,5$), celle du vent est de 2 lbs ($0^k,14$) ou un peu plus; 2° une machine verticale à cylindres superposés, diamètre du cylindre à vent $1^m,52$, course $1^m,22$, faisant douze tours par minute. Le vent de ces deux machines se rend dans un réservoir commun, qui est une chaudière de $0^m,90$ de diamètre et $46^m,50$ de longueur. L'air est ensuite chauffé à la température de fusion du plomb.

Des halles de coulée sont attenantes aux hauts fourneaux. Les monte-charges sont soit des balances d'eau, soit des appareils pneumatiques marchant à l'aide du vent de la machine soufflante.

Quant aux prix de construction de ces hauts fourneaux, celui d'Appleton, représenté *fig.* 5 et 6, Pl. II, a coûté, à lui seul, $ 20.000 (94.000 fr.). Les appareils à air chaud, machines (roue hydraulique), etc., ont coûté $ 34.000 (160.000 fr.). Plus 30 kilns à $ 1.000 (4.700 fr.) chaque, et deux bateaux à $ 4.000 (19.000 fr.) chaque, pour les transports. En tout 92.000 $ (450.000 fr.).

Les minerais traités sont un mélange d'hématite ou de magnétite avec 20 à 33 p. 100 de limonite. Le rendement en fonte est de 60 à 64 p. 100 du poids du minerai, quelquefois davantage. Voici deux exemples du roulement du fourneau de Morgan :

		SEMAINE FINISSANT : le 11 juillet 1874.		SEMAINE FINISSANT : le 18 juillet 1874.	
Rendement moyen		65 p. 100		68 p. 100	
Consommations par tonne (1.016k) de fonte.	Charbon de bois, hectolitres	38,7		37,1	
	Calcaire	76k,5		81k,5	
	Minerai schisteux de la mine Republic	1.280k	1.575k	1.230k	1.515k
	Hématite brune de la mine du lac Supérieur	295		285	
Production de la semaine en tonnes de 1.016k.	Fonte n° 1	115	154	64	161
	— n° 2	36		71	
	— n° 3	0		26	
	— n° 4	3		0	

Le minerai est concassé en morceaux de 0m,07 à 0m,08 de côté. On fait 70 à 76 charges par vingt-quatre heures, en pesant les minerais et la castine. On charge d'abord le charbon, puis le lit de fusion. On coule quatre fois par vingt-quatre heures. On repasse aussi, par petites quantités, dans le lit de fusion, des débris de fonte, bavures de gueuses, etc.

Les fontes produites sont désignées par les nos 1 à 6.

Les nos 1 et 2 sont de la fonte grise, le n° 3 est de la fonte grise à grain fin, les nos 4 et 5 sont des fontes truitées, le n° 6 est une fonte blanche caverneuse.

Ces fontes servent à faire des moulages en seconde

fusion (en particulier des roues de wagon) et de l'acier Bessemer.

Voici l'analyse d'une fonte n° 1, du Pioneer furnace, à Negaunee (donnée dans l'ouvrage de M. Brooks) :

Silicium	2,245
Graphite	2,88
Carbone combiné	0,80
Phosphore	0,138
Soufre	0,011
Manganèse	0,174
Fer	93,201

Les laitiers sont blancs ou vert pâle, vitreux et très-souvent caverneux comme la pierre ponce.

Le minerai coûte, la tonne :

	A LA MINE.	A L'USINE de Morgan.
Minerai de la mine Republic	$ 5 = fr. 23,50	$ 6,36 = fr. 30
Minerai de la mine du Lake Superior	4 = 18,80	4,87 = 22

Le calcaire coûte de 7 à 10 cents par tonne de fonte (0f,33 à 0f,45).

Nous avons vu que le charbon de bois coûtait (frais de fabrication et de transport seulement) 11 1/2 à 11 3/4 cents le *bushel* (1f,50 l'hectolitre).

Quant à la main-d'œuvre, on emploie au fourneau de Morgan :

	francs.
2 chargeurs par 12 heures, à $ 2	9,40
2 hommes en bas, par 12 heures, un à $ 2,20	10,35
L'autre à $ 2,00	9,40
2 casseurs de minerai (à la machine), le jour seulement, travaillent 10 heures environ, à $ 2,00	9,40
1 mécanicien, par 12 heures, un à $ 2,20	10,35
L'autre, à $ 2,00	9,40

Plus divers manœuvres (5 à 8) pour nettoyages, transports de matières, surveillance des tas de charbon, à $ 1,50 à 2 (7 à 9f,40). En tout dix-sept à vingt hommes pour le haut fourneau.

Dans les hauts fourneaux de Negaunee, les lits de fusion et la production sont à peu près les mêmes. Celle-ci est en effet de 18 tonnes de fonte par vingt-quatre heures (36 pour les deux fourneaux); on fait quatre coulées. Les laitiers, blancs ou verdâtres, sont vitreux et s'étirent en fils.

Le minerai dur (hématite et magnétite) est exploité dans la mine Jackson par la compagnie propriétaire des hauts fourneaux, à ses frais, moyennant une redevance de 1 dollar par tonne de fonte.

On emploie, par haut fourneau :

5 hommes pour 12 heures.	10
1 mécanicien par 12 heures.	2
5 hommes le jour seulement.	5
Total.	17

Le nombre des hauts fourneaux de la péninsule supérieure du Michigan est d'une vingtaine. La fonte produite est exportée en majeure partie; il existe néanmoins une fonderie à Marquette même, où l'on fabrique spécialement des roues de wagon.

La surface de roulement des roues est coulée en coquille, dans un moule en fonte, tandis que le reste est coulé en sable. On obtient ainsi, avec des fontes convenables, une trempe énergique sur la surface de roulement, qui est extrêmement dure : on ne la tourne pas. En cassant une roue ainsi coulée, on voit que la fonte forme une couche de grandes lamelles blanches, de 1 centimètre d'épaisseur environ, sur toute cette surface de roulement, tandis qu'elle est grise à grain fin partout ailleurs.

Ces roues sont pleines, avec une cavité au centre. Elles sont fréquemment munies de nervures sur la surface inté-

rieure (*fig.* 3 et 4, Pl. II). Ces nervures les rendent plus solides; on prétend aussi que les roues ainsi faites réussissent mieux à la coulée, parce que la fonte, versée vers le centre, arrive plus vite à la circonférence, et est animée d'un mouvement de rotation, dû à la forme courbe du moule de ces nervures. Ce mouvement de rotation empêcherait les impuretés, telles que les grains de sable, de se fixer à la surface. On fait des roues moins soignées sans nervures.

Les diamètres des roues sont les suivants : 33, 30, 28, 26, 24 pouces ou, en millimètres, 838, 762, 711, 660, 610. On en fait aussi de très-petites, pour wagonnets de mine.

Pour fabriquer ces roues on emploie 1/3 de vieilles roues dans lesquelles la trempe (*chill*) est bien marquée (les roues de rebut, celles qui ont un plat, par exemple, ne peuvent plus servir que comme vieille fonte.), et 2/3 de fontes neuves, principalement du n° 3, auquel on ajoute selon les cas des n°s 1 et 2 pour avoir un métal plus malléable, ou du n° 4 ou même du n° 5 pour obtenir un métal plus aigre, plus trempant.

Lorsque la fonte, fondue, est coulée dans la poche, avant de l'employer, on prend de petits lingots d'essai, coulés en coquille, et, s'il y a lieu, on modifie un peu la composition en ajoutant de petites masses de fontes convenables, qui se fondent dans le bain.

La fusion de la fonte se fait au cubilot. Les cubilots sont des cylindres de tôle garnis de briques, de 0^{m},75 de diamètre intérieur et 2^{m},75 de hauteur, élevés au-dessus du sol sur des colonnes de fonte, et à fond mobile (en tôle recouverte de sable). On y brûle de l'anthracite de Pennsylvanie (360 kilog. pour fondre une tonne de fonte). On charge, pour faire une roue pesant 260 kilog., 310 kilog. de fonte, à cause des déchets.

Les moules se composent : 1° d'une partie circulaire en fonte, ayant le profil de la partie roulante avec le menton-

net. A sa partie inférieure, cette pièce porte une série de rayons en fer destinés à maintenir le sable ordinaire qui forme le moule de la partie intérieure de la roue, celle qui est munie de nervures ;

2° Du moule de la partie creuse de la roue, fait avec un mélange de 9 parties de sable ordinaire, pris sur le bord du lac, et de 1 partie de farine. On emploie de la farine avariée qu'on achète à bas prix. Ce moule est étuvé ; il repose sur trois petites rondelles de fonte, posées sur le moule en sable inférieur, rondelles qui restent prises dans la roue ;

3° Du moule du trou cylindrique central destiné à recevoir l'essieu, fait de même en sable étuvé et posant sur le moule inférieur ;

4° Du moule de la partie extérieure de la roue, fait en sable ordinaire dans un cadre en fer, à l'aide d'un modèle en bois. Ce moule repose sur trois rondelles en sable étuvé posées sur le moule du creux central (2°) de manière à laisser trois trous ronds dans la roue.

On coule la fonte par trois ou quatre orifices près du centre. Dès qu'elle est solidifiée, on démoule, on porte avec une grue la roue encore rouge dans un puits en tôle et on la recouvre de sable fin bien sec. On empile dans ce puits les roues les unes sur les autres et on les y laisse refroidir très-doucement pendant quatre jours. Si l'on ne prend pas cette précaution, les roues se brisent très-aisément.

Le finissage consiste en un simple ébarbage. On ne tourne pas la portée de calage de l'essieu à la fonderie.

Les prix des matières premières sont les suivants :

Fonte neuve, prix variable ; on prend pour base $ 60 la tonne (282 fr.) ;

Vieilles roues, livrées par le chemin de fer de Marquette au prix de $ 30 à 40 la tonne (141 à 184 fr.) ;

Anthracite, $ 12 à 15 la tonne (56f,50 à 70 fr.).

Il y a peu de rebuts dans la fabrication ; ce n'est guère qu'au début des campagnes qu'on en fait.

Quant à la main-d'œuvre, on emploie :

Un mouleur, qui fait 12 à 15 roues par jour et est payé 27 à 40 cents (1f,25 à 1f,85) par roue réussie (selon la grosseur, etc.);

Un fondeur, qui fond la quantité de métal correspondante, à $ 3 (14 fr.) par jour;

Enfin quatre aides, à $ 1,60 (7f,50) par jour.

La roue de 33 pouces (838 millimètres) à nervures pèse 570 lbs = 258 kilog.

Celle de 30 pouces (762 millimètres) à nervures pèse 431 lbs = 205 kilog.

L'usine livre ses roues au chemin de fer de Marquette aux prix suivants, lorsque la fonte est à $ 60 la tonne (ces prix varient proportionnellement à celui de la fonte) :

			millim.		francs.
Roues de	33	pouces ou	838. . .	$ 19,00 ou	89,20
—	30	—	762. . .	$ 18,00 ou	84,50
—	28	—	711. . .	$ 17,00 ou	79,80
—	26	—	660. . .	$ 16,00 ou	75,10
—	24	—	610. . .	$ 15,50 ou	72,75

Cette fabrication est, comme on le voit, assez simple, mais elle exige de bonnes fontes et doit être faite avec adresse.

APPENDICE

Sur les mines de cuivre du lac Supérieur.

J'ajouterai à cette notice quelques lignes sur l'état présent des mines de cuivre du lac Supérieur.

En fait de voies nouvelles de communication, on a percé un large canal entre le fond ouest du lac Portage et le lac Supérieur, de sorte que la pointe de Keweenaw est maintenant une île. Les bateaux évitent le long détour qu'ils fai-

saient en la doublant. Un chemin de fer à voie étroite dessert une partie du district minier, situé au nord du lac Portage, depuis Hancock jusqu'à la mine Calumet.

La ville de Houghton, sur la rive sud du lac Portage, a pris un développement considérable pour le pays et en face, à Hancock, une importante usine à cuivre s'est établie, contenant sept grands réverbères d'affinage et trois cubilots pour la fonte des scories. Le charbon de Pennsylvanie y est amené à très-bas prix, car les bateaux qui emportent le cuivre ou le minerai seraient, sans ce transport, obligés de revenir sur lest. L'ancienne usine de Détroit, décrite dans le premier mémoire de Rivot, comprend quatre réverbères d'affinage.

La production a suivi une marche croissante depuis 1858, comme le montrent les tableaux suivants, extraits de journaux de Houghton :

I. — Production du minerai de cuivre préparé de 1845 a 1873.

(*En tonnes de 2.240 lbs = 1.016 kilog.*)

	tonnes.		tonnes.
1845-1853.	7.642	1866.	10.376
1854-1857.	11.312	1867.	11.735
1858.	4.100	1868.	13.049
1859.	4.200	1869.	15.288
1860.	6.000	1870.	16.183
1861.	7.500	1871.	16.071
1862.	9.962	1872.	15.166
1863.	8.548	1873.	18.638
1864.	8.472	Total.	195.033
1865.	10.791		

La quantité de cuivre en lingots produite est de 70 à 80 p. 100 de celle de minerai.

II. — Production des diverses mines.

1° *District du lac Portage.*

	En 1872.	En 1873.
	tonnes.	tonnes.
Calumet et Hecla.	9.727 $^{3}/_{4}$	11.552
Quincy.	1.402 $^{1}/_{4}$	1.600
Franklin et Pewabic. . .	630	671
Atlantic.	?	464
Houghton.	300	285
Schoolcraft.	300	270
Isle Royale.	81	143
Summer.	?	77
Concord.	80	84
Hancock.	26	71
Albany et Boston.	?	50
Quincy tribute C°. . . .	?	25 $^{1}/_{4}$
Mesnard.	?	5 $^{3}/_{4}$
Autres mines.	6	2
Totaux.	12.543	15.300

En 1871, la production avait été de 12.792 tonnes.

2° *District de la pointe de Keweenaw.*

	tonnes.	tonnes.
Central.	803 $^{3}/_{4}$	1.032
Copper Falls.	425 $^{1}/_{2}$	834 $^{1}/_{2}$
Phœnix.	477	350
Cliff.	74 $^{1}/_{2}$	326
Delaware.	110	209 $^{1}/_{4}$
Saint-Clair.	13	55 $^{1}/_{4}$
American.	?	24 $^{1}/_{4}$
Amygdaloid.	?	19 $^{1}/_{4}$
Petherick.	6	10
Autres.	8	?
Totaux.	1.915 $^{3}/_{4}$	2.860 $^{1}/_{2}$

En 1871, la production avait été de 2.340 $^{3}/_{4}$ tonnes.

3° *District d'Ontonagon.*

	tonnes.	tonnes.
Ridge	170	150
National	251 1/2	131 1/4
Minnesota	159 1/2	104
Bohemian	36 1/2	50 1/4
Flint steel river	37 1/4	45 3/4
Knowlton	11 3/4	40
Rockland	25 1/2	16 1/4
Mass	1 1/4	6 1/2
Adventure	8	3 1/2
Tremont	?	1/2
Aztec	2 1/4	?
Victoria	3	?
Totaux	706 1/2	548

La production de 1871 avait été de 939 tonnes.

Les capitaux engagés dans toutes les mines, depuis 1845 jusqu'en 1872 (et y compris 1872), sont estimés à $ 17.300.000.

Les dividendes payés en 1872 par les principales mines sont les suivants :

Calumet et Hecla	$	2.750.000 (*)
Quincy	$	350.000
Pittsburg et Boston (Cliff)	$	100.000
Central	$	80.000
Minnesota	$	50.000
Franklin	$	20.000
Pewabic	$	20.000
National	$	20.000

Une partie seulement du cuivre fourni par le lac Supérieur est extraite des filons proprement dits ; le reste se trouve dans des couches de roches diverses imprégnées de ce métal.

La deuxième partie du *Geological survey of Michigan* traite des terrains cuprifères et renferme de nombreuses

(*) Pour un capital versé de $ 300.000.

descriptions de roches. J'en extrais les détails suivants sur ces roches imprégnées de cuivre.

Dans le district du lac Portage on trouve des bancs de trapps ou mélaphyres amygdaloïdes imprégnés de cuivre ayant une direction N. 35° E. et plongeant vers le N.-O., sous un angle de 55 à 60°. Ces roches sont à base de labradorite, associée à des chlorites, à de la magnétite en quantité variable, quelquefois à de l'augite. Elles renferment en outre de la calcite, de l'épidote, du quartz, de la prehnite, de la laumonite, de l'orthoclase, de la datholite, du cuivre natif imprégnant quelquefois toute la masse, plus souvent concentré dans des amygdales, et parfois de l'argent natif.

L'analyse d'une de ces roches (provenant d'une couche voisine de la mine de Quincy) a donné le résultat suivant :

Silice	31,8
Alumine	15,5
Protoxyde de fer	28,9
Chaux	9,6
Magnésie	4,4
Eau	9,9

Tout le fer est calculé comme protoxyde ; l'excès d'oxygène est compté à l'état d'eau.

L'auteur de l'analyse suppose que cette roche est ainsi constituée :

Delessite	46,36
Labradorite	47,43
Pyroxène ou hornblende	5,26
Magnétite	0,95
	100,00

D'après le même chimiste, la roche qui forme la couche riche de la mine de Quincy contiendrait :

Delessite	38
Labradorite	62

la delessite y formant des amygdales et des grains dans une pâte de labradorite.

A la mine d'Albany et Boston, la composition serait :

Delessite	40
Mica	20
Labradorite	40

Le grain de ces diverses roches, désignées sous le nom de mélaphyres, est plus ou moins fin. Quelquefois elles deviennent porphyriques et contiennent de petits cristaux de labradorite. Elles renferment fréquemment des amygdales de zéolithes et autres minéraux cités plus haut.

Une autre espèce de roche cuprifère du même district est le conglomérat, formé de cailloux de porphyre feldspathique ou quelquefois de mélaphyre compacte ou amygdaloïde, reliés par un ciment à grains fins de même composition. La grosseur des cailloux varie de quelques millimètres à un pied de diamètre. Souvent ils se touchent : quelquefois cependant ils deviennent rares et le ciment forme une sorte de grès. En allant vers le nord-est du district, on voit apparaître des cailloux riches en quartz, qu'on ne trouve pas dans les couches plus voisines du lac Portage.

Dans le district de Keweenaw on trouve des bancs d'amygdaloïdes cuprifères, désignés sous le nom de « *ash beds* ».

La riche mine de *Calumet and Hecla* est ouverte dans une couche de conglomérat, comprise entre des mélaphyres compactes, d'une épaisseur de 3 à 5 mètres. La direction est de N. 33° 15′ E. et le plongement de 39° 15′ vers le N.-O. Ce conglomérat est tellement imprégné de cuivre que la richesse du minerai sortant de la mine est de 4 à 5 p. 100. Quelquefois on trouve des morceaux de cuivre gros comme le poing.

L'exploitation se fait au moyen de puits inclinés suivant

la couche, au nombre de sept. De ces puits partent, tous les 27 mètres, des galeries de niveau de 3 mètres de large, reliées tous les 15 mètres par des cheminées inclinées. Le percement de ces galeries se fait au moyen de perforateurs à air comprimé. Il y avait, lors de ma visite, quatorze niveaux ouverts dans la mine.

On enlève les massifs rectangulaires, ainsi découpés, en commençant par le bas sur toute leur longueur. L'abatage se fait à la poudre; les ouvriers s'installent pour faire le travail sur de petits échafaudages. On leur paye $ 18 à 30 le fathom cube (6 mètres cubes) de roche en place.

On soutient le toit à l'aide de troncs d'arbres d'un diamètre de $0^m,50$ à 1 mètre, coupés en tronçons de longueur égale à l'épaisseur de la couche. Ces bois sont placés presque jointivement sur une longueur de 4 à 5 mètres, en ligne horizontale; puis on laisse un intervalle vide d'égale longueur, par lequel le minerai abattu descend à la galerie inférieure. Au-dessus de la première rangée horizontale de troncs d'arbres, on en place d'autres, en laissant un écartement variable entre les rangées, de $0^m,50$ à 2 mètres, selon la solidité du toit.

Pour mettre en place ces énormes pièces de bois, on les élève de la galerie au haut du chantier à boiser avec une corde passant dans une moufle. Cette moufle a pour point d'appui un poteau plus petit qu'on fixe à cet effet devant le front de taille. Une fois l'arbre amené à la place qu'il doit occuper, on le serre entre le toit et le mur avec des coins. Ces opérations sont faites par une équipe de boiseurs, composée de huit hommes en général.

Les ouvriers descendent et remontent au moyen d'une fahrkunst à deux tiges inclinées.

Le minerai est chargé au bas du chantier dans des wagons en tôle, ouverts aux deux bouts, afin qu'on puisse y placer de longues pièces de bois, et pouvant basculer autour d'un axe parallèle aux essieux. On transporte par-

fois sur ces wagons des blocs énormes de rocher. Deux ou trois hommes poussent un de ces wagons, contenant environ 2 tonnes, et vont le basculer au puits dans le *skip* ou benne. Au jour, le *skip* se vide dans des wagonnets, traînés par une corde sans fin le long d'une estacade qui dessert tous les puits. Au bout de l'estacade, le minerai tombe sur des plans inclinés aboutissant à un plancher. Là, quelques ouvriers brisent à coups de masse les gros morceaux, et font passer le minerai entre les mâchoires de *rock breakers*. Les très-gros blocs sont brisés par un marteau-pilon à vapeur. Il est assez curieux de voir cette machine employée à cet usage.

Le minerai réduit en petits fragments tombe dans des wagons en tôle, qui le transportent à l'atelier de préparation mécanique, situé à quelque distance.

Pour les opérations, simples d'ailleurs, de la préparation des minerais du lac Supérieur, on fait usage de quelques machines intéressantes.

C'est d'abord le bocard de Ball, introduit il y a dix-sept ans; c'est une sorte de pilon à vapeur à double effet, donnant 90 coups par minute avec une levée de $0^m,60$. La distribution est commandée par un arbre indépendant. Un seul de ces appareils broie des quantités considérables de minerai, jusqu'à 120 tonnes par 24 heures. Il est vrai qu'on ne pulvérise pas très-finement les matières.

Pour l'enrichissement des minerais broyés, on fait usage des cribles à piston de Collom : le piston, au lieu d'être commandé directement par une excentrique, est frappé par l'extrémité d'un levier coudé, qui l'abaisse brusquement; un ressort à boudin le relève.

NOTICE

SUR

LA MÉTHODE DE TRAITEMENT DES MINERAIS D'OR ET D'ARGENT

SUIVIE A L'USINE DE BLACK HAWK, COLORADO.

Par M. E. SAUVAGE, ingénieur des mines.

Le traitement des minerais cuivreux complexes d'or et d'argent constitue un problème de métallurgie assez compliqué, problème qui a reçu bien des solutions diverses et qui est appelé à en recevoir encore de nouvelles. J'indiquerai d'une manière succincte, dans cette notice, la méthode suivie dans une usine importante du Colorado, méthode qui réunit des traits communs à divers procédés métallurgiques. Il y avait d'ailleurs fort peu de temps, lors de ma visite, en août 1874, que ces procédés étaient usités, de sorte que la méthode adoptée ne l'était peut-être pas d'une manière absolument définitive, et qu'une plus longue pratique peut avoir conduit le directeur de l'usine à la modifier plus ou moins.

Cette usine, qui appartient à une compagnie (*Boston and Colorado smelting Co.*), est située à Black Hawk (comté de Gilpin), petite ville dans les montagnes Rocheuses, reliée à Denver, capitale du Colorado, par un chemin de fer à voie étroite, qui suit la vallée resserrée de Clear creek (*Clear creek cañon*). Dans ses études sur la métallurgie de l'argent aux États-Unis, M. Burthe dit quelques mots de cette usine (*Annales des mines*, VII[e] série, t. VI, 1874, p. 52); mais, au moment où il l'a visitée, on ne faisait qu'y produire des mattes cuivreuses sans les désargenter.

Les minerais traités sont de provenances et de natures très-variables, car l'usine en achète à un grand nombre de mines. Ceux des mines de Black Hawk, qui forment une partie notable de l'approvisionnement, sont des pyrites de cuivre et de fer, associées à de la galène et de la blende, en plus ou moins grande quantité, avec une gangue quartzeuse. L'or paraît être concentré dans les pyrites; l'argent se trouve partiellement allié à l'or; mais il existe surtout dans la galène et la blende; les minerais qui renferment la plus forte proportion de ces deux espèces minérales sont, en général, les plus riches en argent. Quelquefois l'or et l'argent se trouvent à l'état natif.

Les minerais de Georgetown (comté de Clear creek) sont seulement argentifères; ce sont des galènes et des blendes riches, auxquelles sont mélangés des minéraux d'argent, sulfure, arséniure, antimoniure. Ils contiennent fréquemment de 1 à 5 p. 100 d'argent.

On traite aussi dans l'usine, en petite quantité, des tellurures d'or et d'argent (altaïte, sylvanite, petzite, etc.), provenant des mines de Gold Hill, comté de Boulder (*).

(*) Ces minéraux remarquables, dont les gisements connus sont encore si peu nombreux, ont été trouvés dans le Colorado il y a trois ou quatre ans. Ils existent en filons dans un granite qui passe par places à la pegmatite. Les deux filons principaux sont ceux de Red Cloud et de Cold Spring, qui sont séparés par un dyke de porphyre d'une quinzaine de mètres d'épaisseur et sont, par suite, chacun au contact du porphyre et du granite. Ils ont de 1 à 3 mètres d'épaisseur; leur direction est N. 31° E., et ils plongent de 15 à 18° vers le N.-O. On trouve, avec les minéraux tellurés, de la blende, des pyrites de fer et de cuivre, de la galène, du fer carbonaté et du fer oligiste; la gangue se compose de quartz, souvent dur et noirâtre, quand il renferme des tellurures, de feldspath, fréquemment kaolinisé, et de granite altéré. Outre ces deux filons, on en a découvert depuis plusieurs autres, et les recherches des affleurements sont fort actives.

Le nombre des espèces minérales tellurées trouvées à Gold Hill est assez considérable; ce sont : l'altaïte, la hessite, la sylvanite, la petzite, la nagyagite (voir la minéralogie de Dana), puis deux

Les minerais vendus à l'usine tels qu'ils sortent de la mine sont seulement les plus riches ; les plus pauvres sont d'abord bocardés en présence de mercure ; une partie de l'or qu'ils contiennent s'amalgame, et le résidu est enrichi par préparation mécanique. On obtient ainsi des *tailings*, ou pyrites renfermant encore une notable proportion de métaux précieux. Ces *tailings* sont traités à l'usine.

Les minerais, fondus à l'usine, sont divisés en deux classes, selon leur richesse. Par exemple les minerais des mines de Black Hawk sont dits pauvres lorsqu'ils renferment :

2 à 4 ozs. d'or }
et 6 à 8 ozs. d'argent } à la tonne (*)

et riches avec :

5 à 10 ozs. d'or }
et 8 à 14 ozs. d'argent } à la tonne.

La valeur de l'oz. d'or étant de 107fr,12,
Celle de l'oz. d'argent de 6fr,91,
Les minerais pauvres renferment :

210 fr. à 430 fr. d'or }
et 40 fr. à 55 fr. d'argent, } total : 250 à 485 francs,

et les minerais riches :

500 fr. à 1.000 fr. d'or }
et 55 fr. à 100 fr. d'argent, } total : 555 à 1.100 francs.

Les *tailings* sont parfois encore fort riches ; certains lots

---

espèces nouvelles, récemment déterminées par M. F. M Endlich : la henryite, tellurure de plomb et de fer (3PbTe + FeTe) et la schirmérite, tellurure d'or, d'argent et de fer.

(*) La mesure de poids des minerais est la *tonne* de 2.000 *livres avoirdupoids* = 907k,184. La richesse en métaux précieux s'estime en *ounces* (*ozs.*) *troy* (1 oz. troy = 31g,103) par tonne. Une tonne de 2.000 *lbs. av. d. p.* = 29.166 ozs. troy. Une richesse de 100 ozs. est donc un peu plus de 1/3 p. 100 en poids.

renferment jusqu'à 3 ozs. d'or (320 fr.) et 6 ozs. d'argent (41 fr.) à la tonne.

La moyenne de huit essais, cités par M. J. D. Hague (*Exploration of the 40th parallel*), est de

Or.	110 fr.,	total : 139 francs à la tonne.
Argent. . .	29 fr.,	

Il est vrai que ces *tailings* provenaient d'un traitement déjà ancien. La moyenne de dix essais de tailings, plus récemment produits, cités par le même auteur, n'est plus que de

Or..	35 fr.,	total : 52 francs à la tonne.
Argent. . . .	17 fr.,	

Pour avoir la valeur totale de ces *tailings*, comme du reste celle des minerais, il faut encore ajouter la valeur du cuivre contenu.

L'usine de Back Hawk reçoit aussi des mattes riches qui viennent d'un autre établissement appartenant à la même compagnie, situé à Alma, South Park, Colorado; ces mattes sont traitées avec celles fabriquées comme je vais l'indiquer.

Je donnerai d'abord le tableau des diverses opérations pratiquées dans l'usine :

I. Grillage des minerais.
II. Fonte pour matte.
III. Broyage et grillage imparfait de la matte.
III'. Pulvérisation et grillage pour sulfate d'argent de la matte. (Procédé Ziervogel.)
IV. Lessivage et précipitation de l'argent.
V. Fonte des résidus pour *white metal*.
VI. Désargentation du white metal par le même procédé. (Ziervogel.)
VII. Fonte du résidu pour *pimple metal* et *bottoms*.
VIII. Désargentation du *pimple* d'après le procédé *Augustin*.
IX. Rôtissage des *bottoms* et oxydation de ces *bottoms*.

Les deux premières opérations donnent des mattes contenant l'or et l'argent des minerais. Le but qu'on se propose dans ce traitement est la concentration finale de l'or dans les produits cuivreux impurs appelés *bottoms*, donnés par l'opération VII, et la séparation de l'argent dans les opérations intermédiaires. A cet effet, on traite d'abord les premières mattes d'après le procédé Ziervogel; mais le résultat est loin d'être l'enlèvement complet de l'argent, puisqu'on applique une seconde fois le même procédé aux nouvelles mattes (*white metal*) obtenues avec les résidus du premier lessivage, et qu'ensuite le *pimple* ou matte régule, d'où les *bottoms* se sont séparés, est traité d'après le procédé Augustin.

Donc, si la concentration de l'or paraît être complète dans ces *bottoms*, la séparation de l'argent n'est pas aussi satisfaisante, et il est possible, comme je l'ai dit en commençant, qu'on cherche à modifier la méthode, par exemple en ne pratiquant la désargentation par le procédé Ziervogel que sur des mattes déjà beaucoup plus enrichies. La présence de l'arsenic et de l'antimoine dans les mattes rend d'ailleurs certainement moins complète la séparation de l'argent par ce procédé.

I. — Grillage des minerais.

Les minerais sont grillés, soit en tas, soit au réverbère, selon qu'ils sont gros ou menus.

Les tas sont formés de morceaux un peu plus gros que les cailloux des routes. Ils renferment en moyenne 50 tonnes (de 907 kilog.), et le grillage dure de sept à huit semaines. Il se forme souvent, par sublimation, à la partie supérieure des tas, des groupes d'octaèdres à faces creusées en trémies, d'acide arsénieux, coloré en jaune par du soufre.

Les réverbères de grillage (*fig.* 8 à 12, Pl. II) sont très-

longs et la sole, en briques, est disposée en escalier. Six portes de travail sont percées sur un des côtés; devant les deux portes voisines de la chauffe, une fosse étroite sert à reçevoir le minerai grillé. La chauffe, où l'on brûle du bois résineux en longues bûches, est petite, ayant une surface de $1^{mq},07$ pour une sole de 29 mètres carrés. La section du rampant est de $0^{mq},20$; la cheminée, haute de 12 mètres, est commune à deux fours. Le four est construit presque entièrement en briques ordinaires, et ce n'est qu'auprès de la chauffe qu'il est garni de briques réfractaires.

Le chargement se fait à la pelle, par les deux portes voisines de la cheminée; chaque charge est de 1.200 kilogrammes. On fait avancer successivement les minerais à griller d'un bout du four à l'autre, en introduisant une nouvelle charge toutes les huit heures.

On laisse, dans les minerais grillés, de 4 à 5 p. 100 de soufre.

II. — Fonte pour mattes.

Le four dans lequel se fait cette opération (*fig.* 13 à 16, Pl. II) est un réverbère à sole ovale, muni de deux portes et d'un trou de coulée. Les parois latérales de la chauffe, dans laquelle on brûle du bois en bûches, vont en se rapprochant vers le bas, de sorte que la surface de la grille est réduite à la moitié de celle de la chauffe au niveau du sommet du pont. La porte de la chauffe, percée dans la paroi antérieure, est fermée par une plaque en fonte, équilibrée par un contre-poids. La voûte, au-dessus du pont, est percée de petites ouvertures (*fig.* 16) de $0^{m},03$ sur $0^{m},06$, disposées en deux rangées transversales, de dix chacune, *a* et *a'*, plus deux à droite et deux à gauche, *b* et *b'*. La chauffe étant maintenue complétement pleine de bois, sur plus de 1 mètre d'épaisseur, est un véritable gazogène, et l'air qui brûle les gaz au-dessus de la sole entre par ces ouvertures *a*, *a'*, *b*, *b'*. La surface de grille, étant considé-

des minerais de cuivre dans le pays de Galles. (Voir le mémoire de M. Le Play, *Annales des mines*, 4e série, t. XIII, p. 170.) En effet, la forme du réverbère, sauf la disposition de la chauffe et l'existence d'une porte latérale, est la même : les dimensions du four de Black Hawk sont seulement un peu plus grandes. La charge, à Swansea, est bien moins considérable, ce qui s'explique par la plus grande richesse en cuivre des minerais traités. Une opération dure aussi moins longtemps, quatre heures au lieu de six. On brûle un mélange d'anthracite menu (0,68 p. 100) et de houille également menue (0,32 p. 100) ; par tonne de minerai, on consomme 624 kilog. de ce mélange ; à Black Hawk on brûle, pour fondre la même quantité de minerai, un peu plus de 2 stères de bois.

III et III'. — Broyage et grillage de la matte pour sulfate d'argent.

Le procédé *Ziervogel* (*) consiste à amener, par un grillage, l'argent contenu dans les mattes à l'état de sulfate, tandis que le cuivre et les autres métaux sont à l'état d'oxydes. On isole ensuite facilement le sulfate d'argent par lavage à l'eau bouillante.

Pour transformer ainsi l'argent en sulfate, il faut opérer sur des matières réduites en poudre très-fine, et conduire le grillage avec beaucoup de soin. Au lieu d'effectuer cette opération entièrement dans les fours spéciaux et sous la conduite des ouvriers de choix, qui sont nécessaires, on commence par griller incomplétement les mattes grossièrement pulvérisées, dans des fours ordinaires. Ce

(*) On trouvera une description de ce procédé, ainsi que du procédé *Augustin*, dans le mémoire de M. Lan sur le traitement des schistes cuivreux du Mansfeld (*Annales des mines*, 4e série, t. XX). Voir aussi le *Traité de métallurgie* de Rivot.

premier grillage rend d'ailleurs plus facile la porphyrisation de ces mattes.

Les lingots grossiers de matte sont d'abord divisés à coups de masse, puis les fragments passent entre les mâchoires d'un *rock breaker* et ensuite sous un rouleau broyeur. La poudre grossière est alors grillée dans un réverbère long, pareil à ceux qui servent à griller les minerais menus ; on opère seulement sur des charges un peu plus faibles, 900 kilogrammes au lieu de 1.200 par 8 heures. La matte contient, après ce premier grillage, encore de 5 à 8 p. 100 de soufre. Elle est alors porphyrisée dans des cylindres contenant des balles de fer, et animés d'un mouvement de rotation rapide; la poudre ainsi obtenue est blutée. Les ouvriers qui dirigent ce travail portent une éponge humide attachée devant la bouche, afin de ne pas absorber la poussière pénétrante qu'il produit.

Le four de grillage pour sulfate d'argent est un réverbère à sole ovale, formée d'une plaque de fonte, avec une large porte de travail sur le côté. Cette sole a $3^m,80$ sur $1^m,85$ ($5^{mq},5$ de surface) ; la chauffe, où l'on brûle du bois, a $0^m,80$ sur $0^m,45$ ($0^{mq},36$); le pont est très-élevé, de manière à préserver les matières du contact trop direct des flammes.

Les gaz sortant du four traversent, avant de s'échapper par la cheminée, quatre petites chambres de condensation, communes à deux fours accolés, où se rassemblent les poussières entraînées.

On charge à la fois dans un four 725 kilogrammes de matte pulvérisée, charge bien plus considérable qu'au Mansfeld. Un grillage dure environ cinq heures; on le commence à une température très-basse, et on le termine par un coup de feu, afin de décomposer les sulfates de fer et de cuivre qui se sont formés pendant le cours de l'opération en même temps que le sulfate d'argent ; il faut, bien entendu, ne pas décomposer ce dernier sel : aussi prend-

on, vers la fin de l'opération, une série d'essais à intervalles rapprochés, en mettant un peu de la matière dans un verre d'eau : le sulfate de cuivre donne une coloration bleue. On défourne lorsque cette coloration devient très-pâle, sans attendre qu'elle ait disparu entièrement; autrement on risquerait de dépasser la température à laquelle le sulfate d'argent se décompose.

Avant d'introduire dans le four une nouvelle charge, on le laisse refroidir quelque temps; on passe deux charges par jour, et l'on ne travaille pas la nuit.

IV. — Lessivage et précipitation de l'argent.

Le lessivage de la matte grillée se fait dans des cuves en bois de chêne (*fig.* 18, Pl. II), munies d'un faux fond percé de trous, recouvert d'une toile qui retient les matières. On remplit complétement une cuve de matte grillée, et l'on y fait arriver un courant continu d'eau bouillante (à 95°, vu l'altitude de Black Hawk), en réglant l'ouverture du robinet inférieur de manière que la cuve soit toujours pleine d'eau. La dissolution du sulfate d'argent qui sort des cuves s'écoule dans des bassins de précipitation remplis de feuilles minces de cuivre. Ces bassins sont en bois, ils ont $0^m,60$ sur $0^m,50$, et sont profonds de $0^m,60$; chacun d'eux présente, paraît-il, une surface de 100.000 pouces carrés (62 mètres carrés) de cuivre. L'eau circule dans un premier groupe de dix bassins au même niveau, en passant successivement de l'un dans l'autre par-dessus les parois, puis dans un second groupe semblable, un peu en contre-bas. Elle ne renferme plus alors trace d'argent, et on la fait écouler dans un troisième groupe de bassins semblables, mais remplis de ferraille, où le cuivre se précipite. On rejette les eaux contenant du sulfate de fer qui s'échappent de ces derniers bassins.

On continue le lessivage des matières placées dans les

cuves, tant que les eaux qui s'en écoulent donnent, avec le sel marin, la réaction de l'argent, — en moyenne, huit heures. — Toutes les semaines, on recueille l'argent déposé sur les feuilles de cuivre : cet argent renferme un peu de cuivre; pour le purifier, on le place dans une cuve (*fig.* 17, Pl. II) contenant de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique. Un tuyau qui débouche au fond amène de la vapeur d'eau mélangée d'air, aspiré à travers l'intervalle de deux emmanchements coniques. Le liquide s'échauffe et le mélange est brassé sous l'influence de ce courant; l'air et l'acide sulfurique transforment le cuivre en sulfate qui se dissout. On purifie en une fois, dans cette cuve, 3.000 ozs. (93 kilog.) d'argent en trois heures.

L'argent ainsi purifié est séché sur la voûte d'un carneau parcouru par des gaz chauds, puis fondu au creuset. On fait usage de grands creusets de plombagine, chauffés au coke dans un four à vent, donnant chacun un lingot du poids de 1.100 ozs. (34^k,213). Le métal de ces lingots est très-pur; le titre est de 994 à 996.

Un même creuset peut servir à plusieurs opérations, quelquefois à dix.

Quand les creusets sont hors de service, on les broie et les traite comme minerais d'argent.

Quant au cuivre de cément déposé sur la ferraille, on le fond dans un petit réverbère, où on le soumet à l'opération ordinaire de l'affinage et du raffinage. On opère sur une tonne à la fois, et l'on coule le cuivre obtenu en plaques minces, qu'on emploie de nouveau.

V. — FONTE POUR WHITE METAL.

Les résidus du lessivage des mattes grillées sont de l'oxyde de cuivre et du sesquioxyde de fer, renfermant l'or des minerais, une proportion encore notable de l'argent (5 p. 100

de la quantité primitivement contenue?) et divers autres métaux, tels que plomb et antimoine.

On ajoute à ces résidus des matières sulfurées, qui sont les *tailings* dont j'ai parlé plus haut, et on les fond pour matte dans le four à réverbère décrit pour l'opération II. On charge à la fois 3.550 à 3.600 kilog. de matières, dont 2/3 de résidus de lessivage et 1/3 de tailings.

On obtient une nouvelle matte plus riche, désignée sous le nom de *white metal*, contenant de 50 à 60 p. 100 de cuivre, et, en moyenne, 120 ozs. d'argent (4^k,120 p. 1.000), 40 à 50 ozs. d'or (1^k,4 à 1^k,7 p. 1.000), et des scories formées aux dépens du quartz contenu dans les tailings. Une partie de ces scories est pauvre : ce sont celles qui s'écoulent dans les bassins de sable les plus éloignés de la porte du four; les grenailles se rassemblent dans les premiers bassins, dont le contenu repasse dans l'opération II.

La production du four est de 3.600 kilog. de *white metal* par vingt-quatre heures.

VI. — Traitement du white metal.

La matte blanche est broyée et grillée d'après le procédé Ziervogel, comme la première matte. On obtient une nouvelle quantité d'argent et un résidu.

VII. — Fontes pour pimple metal et bottoms.

Ce résidu, après addition de pyrites riches qui fournissent du soufre et de la silice, est soumis à un rôtissage dans le four de l'opération II, les deux ouvertures de chaque côté du pont étant débouchées. On opère sur deux tonnes de matières, et l'on obtient une nouvelle matte contenant environ 75 p. 100 de cuivre, et des scories qui repassent dans l'opération II. C'est l'opération VII du traitement Gallois. (Voir le mémoire de M. Le Play, p. 457.)

Cette nouvelle matte est soumise, dans le même four, à un rôtissage (opération VIII du traitement Gallois; *ibid.*, p. 467), qui donne une matte-régule ou *pimple metal*, contenant environ 80 p. 100 de cuivre; des scories riches repassant dans II, et enfin des *bottoms* ou fonds cuivreux, où se rassemble l'or, avec l'arsenic, l'antimoine, le plomb, et un peu de l'argent qui reste encore dans les mattes. Cette matte-régule présente une série de petites boursouflures, d'où son nom de *pimple metal;* on y trouve aussi des cavités où le cuivre s'est isolé en filaments d'un beau rouge.

Cette opération, par laquelle l'or se concentre dans les *bottoms*, est, comme je l'ai fait observer plus haut, l'une des plus intéressantes de ce traitement. C'est d'ailleurs celle que l'on pratique à Swansea, et je ne puis mieux faire que de renvoyer à la description de M. Le Play.

Avec quatre tonnes (3.600 kilog.) de *white metal*, on obtient environ 600 lbs (270 kilog.) de *bottoms* et trois tonnes (2.700 kilog.) de *matte-régule.*

VIII.— Désargentation du pimple d'après le procédé Augustin.

La matte régule obtenue dans l'opération précédente contient encore de l'argent, ce qui prouve que les deux précédentes opérations de désargentation, par le procédé Ziervogel, étaient loin de donner des résultats entièrement satisfaisants. Aussi se proposait-on de désargenter cette matte d'après le procédé Augustin; les appareils du traitement n'étaient d'ailleurs pas complétement installés lors de ma visite. On sait que le procédé Augustin consiste en un grillage chlorurant des mattes pulvérisées, puis en un lessivage des matières chlorurées avec une dissolution de sel marin. L'argent, dissous à l'état de chlorure, est précipité par le cuivre. Les résidus du lessivage, bien débarrassés d'argent, seront fondus pour cuivre.

IX. — Rôtissage et oxydation des bottoms.

Les *bottoms* sont soumis à un *rôtissage* dans un petit réverbère à sole ovale, de 2 mètres sur 2m,50; ce réverbère, chauffé au bois, présente les mêmes ouvertures dans la voûte pour l'admission de l'air que celui de l'opération II. On traite à la fois deux tonnes, et une opération dure environ dix heures; on sépare de l'alliage cuivreux une scorie plombeuse abondante (jusqu'à 20 p. 100 du poids primitif), entraînant aussi l'antimoine et de l'arsenic. Cette scorie, sorte de litharge fondue, repasse dans l'opération II. Le métal restant est grenaillé d'après un procédé particulier qui donne de petites boules creuses, un peu plus grosses qu'un pois, au lieu de grains pleins. Ce procédé est d'ailleurs tenu secret. Les grains, de formes assez irrégulières, comme on peut le voir sur la *fig.* 19, Pl. II, ont une surface craquelée et perçée de petits trous, quelquefois lisse d'un seul côté seulement. Pour les produire, on a un tour de main spécial, sans doute fort simple et analogue à ceux dont on fait usage pour fabriquer le plomb de chasse; dans cette fabrication, en variant la hauteur de chute, le diamètre des trous par lesquels s'écoule le métal fondu, on obtient des grains de diverses grosseurs. Ces *bottoms* granulés contiennent en moyenne 1.000 ozs. d'or (35 kilog. p. 1.000), et 5 à 600 ozs. d'argent (17 à 20 kilog. p. 1.000).

Ils sont oxydés dans un des réverbères qui servent au grillage pour sulfate d'argent des mattes. Grace à leur forme, en boules creuses, cette oxydation se fait facilement et complétement. Ces matières oxydées sont envoyées à Boston, où on les traite par l'acide sulfurique pour isoler l'or. Ce traitement ne se fait pas à Black Hawk, à cause du prix élevé de l'acide dans cette ville : il y coûte en effet trois fois plus cher qu'à Boston (8 cents la livre au lieu de 2,5).

CONSISTANCE DE L'USINE.

L'usine est située au fond d'une vallée étroite, enserrée entre des montagnes escarpées. Elle comprend :

Des emplacements pour dépôts divers;

Une aire assez étendue pour le grillage en tas, pouvant contenir environ vingt-cinq tas;

Six fours longs de grillage;

Trois fours de fusion pour mattes et rôtissage;

Deux fours de grillage pour sulfate d'argent;

Un atelier de broyage et un de pulvérisation des mattes, avec machines motrices;

Un atelier de lessivage des mattes grillées pour sulfate d'argent, comprenant six cuves de lessivage, c'est-à-dire deux groupes pareils à celui que j'ai décrit; on installe dans ce même atelier les cuves nécessaires pour le procédé Augustin;

Deux fours à vent pour fondre l'argent, un four pour le sécher préalablement; le directeur a un bureau attenant à l'atelier où sont ces fours;

Un petit four de raffinage des *bottoms* et un pour le cuivre de cément;

Un laboratoire;

Un petit atelier où se font les broyages nécessaires pour les prises d'essais;

Un bâtiment pour les bureaux.

L'usine est raccordée au chemin de fer.

On traite par jour environ 30 tonnes (27.500 kilog.) de minerais de toute espèce. Ces minerais donnent en moyenne 3.400 kil. de mattes, avec lesquelles on obtient 1.700 kil. de *white metal*, qui produisent 1.090 kilog. de *pimple* et 109 de *bottoms*. La quantité d'argent obtenue est d'environ 400.000 francs par mois, soit par jour 15.500 francs ou 70 kilog. Les lingots d'argent sont expédiés en grande partie à New-York, principalement par *express company* (compa-

gnie de transports) : le prix est de 1,25 p. 100 de la valeur du métal.

55 à 60 ouvriers sont employés dans cet établissement. Les ouvriers principaux sont payés de 18 à 23 francs par jour, les autres de 11 à 16 francs.

Essais des minerais.

Pour des minerais aussi riches, l'essai, qui détermine le prix d'achat, a une grande importance ; aussi est-il l'objet de beaucoup de soins. Comme partout, c'est la prise d'essai qui présente le plus de difficulté.

Par chaque fraction de 200 lbs (90 kilog.) de minerai, pesé avant le grillage, on met de côté une pelletée. Toutes ces pelletées, provenant d'un même lot, sont broyées sous des rouleaux, et l'on dispose en cône les produits du broyage ; ce cône est défait et refait à la pelle deux ou trois fois. Ensuite on l'aplatit et l'on divise le cône tronqué en quatre parties égales par deux diamètres rectangulaires. On choisit deux secteurs opposés et l'on refait avec les matières de ces secteurs un nouveau cône. On continue ainsi de suite, en réduisant chaque fois à moitié le poids du minerai, jusqu'à ce qu'on n'en ait plus que 50 à 60 lbs (20 à 25 kilog.) au plus. Cela fait, on broie plus finement ce qui reste de minerai, en l'écrasant, sur une plaque en fonte placée par terre, avec un broyeur à long manche, qu'un ouvrier manœuvre debout. On divise ensuite en deux parties le minerai ainsi pulvérisé, en le jetant sur une sorte de grille à barreaux creux, qui en retiennent la moitié. On opère séparément sur les deux moitiés, en les broyant plus finement encore, les criblant avec des cribles de plus en plus fins, et réduisant la quantité de matières au moyen de grilles semblables à celle dont je viens de parler. On achève la porphyrisation sur une petite plaque en fonte placée sur une table. La poudre traverse finalement un crible à quatre-vingts fils par pouce (25 millim). Comme on a opéré sépa-

rément sur les deux moitiés du minerai, on a deux prises d'essai, sur lesquelles on fait des analyses séparées. Cinq ouvriers sont employés à faire ces manipulations.

Pour faire l'essai des minerais d'or et d'argent, on opère sur 4 grammes, auxquels on ajoute 42 grammes de plomb granulé, de richesse connue. On mélange les 4 grammes de minerai à 21 grammes de plomb, et l'on place le 21 autres grammes par-dessus, dans un têt en terre. On ajoute un peu de borax, s'il est nécessaire, pour la gangue, et l'on « scorifie » les matières au moufle. On obtient une scorie et un bouton de plomb que l'on coupelle. On sépare ensuite dans le bouton l'or et l'argent au moyen de l'acide nitrique.

On dose le cuivre par liqueurs titrées; le zinc de même, au moyen du sulfate de soude.

Pour les minerais d'argent seul, on emploie une série de poids qui donne immédiatement le nombre d'onces (*ounces*) d'argent à la tonne de minerai, sans calcul. Partant ce que 1 tonne de 2.000 lbs = 29.166 ozs., il suffit d'avoir, lorsqu'on pèse le bouton d'argent, pour unité de poids $\frac{1}{29.166}$ du poids fixe de la prise d'essai.

Les prix d'achat des minerais étaient fixés par l'usine, en août 1874, ainsi qu'il suit :

On payait 85 p. 100 de leur valeur totale en or et en argent, plus la prime de l'or sur le papier, déduction faite de 35 dollars (*currency*) (*) par tonne (907 kilog.) pour frais de traitement, en estimant l'or à 20 dollars l'once (3.325f,10 le kilog.) et l'argent 1,25 dollar (207f,80 le kilog.), et la prime à 5 p. 100 au-dessous du cours de New-York. Pour le cuivre, on payait 1,50 dollar (*currency*) par unité p. 100

(*) La monnaie usuelle des États-Unis, moins la Californie et le Nevada, est le papier (*currency*); la prime des espèces monnayées (*coin*) sur le papier est variable. En août 1874, 100 dollars (*coin*) valaient en moyenne 110 dollars (*currency*). Pour indiquer la valeur des métaux précieux, on se sert du dollar metal (*coin*).

à la tonne, trouvée à l'essai par voie sèche d'après le procédé du Cornouailles. On admet que cet essai donne 1,5 p. 100 de moins que l'essai par voie humide. Pour les minerais blendeux, le prix d'achat est un peu réduit.

Quant aux minerais d'argent seul, on les payait, à la même époque :

Ceux contenant :	40 *ozs.*	par *tonne*,	34 *cents* (*currency*)	par *oz.*
—	50	—	44	—
—	60	—	52	—
—	70	—	60	—
—	80	—	66	—
—	90	—	70	—
—	100	—	74	—
—	125	—	82	—
—	150	—	89	—
—	175	—	93	—
—	200	—	97	—
—	250	—	99	—
—	300	—	101	—
—	350	—	103	—
—	400	—	105	—
—	450	—	106	—
—	500	—	107	—
—	600	—	108	—
—	700	—	109	—
—	800	—	110	—
—	900	—	111	—
—	1.000	—	112	—
—	2.000	—	116	—

Plus le minerai est riche et plus le prix payé par once d'argent se rapproche de la valeur réelle du métal, mais aussi plus la somme des frais de traitement et du bénéfice par tonne (différence de la valeur de l'argent contenu et du prix d'achat) est élevée, ainsi qu'on peut le vérifier aisément. Les frais de traitement par tonne de minerai sont en effet d'autant plus grands que celui-ci est plus riche.

JULES CALLON,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES.

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Par M. JACQMIN, ingénieur en chef des ponts et chaussées,
Directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est.

Un nouveau nom vient s'ajouter à la liste déjà bien longue des pertes subies par le corps des mines depuis trois ans : c'est celui de Callon, inspecteur général et professeur à l'École des mines.

Après Combes, Sauvage, Audibert, Delaunay, Le Chatelier, il faut inscrire de Billy, Élie de Beaumont hier ; Callon aujourd'hui.

Parmi ces hommes éminents à tant de titres, trois appartiennent à une même promotion d'admission à l'École polytechnique (celle de 1834), Delaunay, Le Chatelier et Callon.

Delaunay, membre de l'Institut et directeur de l'Observatoire, périt misérablement dans une barque en voulant aller visiter la digue de Cherbourg. A vingt mois de distance, la maladie vient frapper les inspecteurs généraux Le Chatelier et Callon.

On pouvait, on devait espérer qu'à la période d'action dans laquelle chacun de ces ingénieurs avait si vaillamment servi succéderait une période plus calme d'études, également féconde pour le pays. Dieu ne l'a pas voulu, et il a rappelé à lui ces âmes d'élite.

Tous les ingénieurs des mines connaissent l'intimité qui existait entre Callon et Le Chatelier, et, lorsqu'il eut le

malheur de perdre son ami, Callon voulut rendre à sa mémoire un douloureux hommage. En relisant la Notice qu'il lui a consacrée, on est frappé de cette triste pensée, que tout a été semblable chez ces deux hommes : même origine, mêmes labeurs, même maladie peut-être, même mort prématurée ; ils entrent ensemble aux grandes écoles, ils font ensemble leur voyage de mission ; nommés ingénieurs le même jour, ils sont, trente ans plus tard et le même jour encore, nommés inspecteurs généraux. En retraçant les premiers travaux de Le Chatelier, Callon faisait l'histoire des siens ; en parlant de l'intelligence si vive, du cœur si chaud, de l'aménité si parfaite de son ami, Callon semblait écrire les pages de sa propre biographie.

La biographie de Callon est difficile à faire. Sa vie a été si remplie, son œuvre a été si considérable, qu'il faut en aborder successivement les divers côtés.

Dans les pages émues qu'il a lues sur une tombe encore ouverte, M. l'ingénieur en chef des mines Dupont a donné les grands traits de la vie de Callon et dit les services qu'il avait rendus comme ingénieur et comme professeur.

Ces services ne sont pas les seuls, et la grande industrie minière et métallurgique peut revendiquer Callon comme un de ses chefs les plus éclairés. Pendant de longues années, il a été administrateur délégué de la compagnie des mines de la Grand'-Combe, ingénieur-conseil de la Régie d'Aubin appartenant à la compagnie des chemins de fer d'Orléans, de la compagnie des Charbonnages belges et de beaucoup d'autres entreprises aussi importantes.

L'influence que Callon a exercée dans ces grandes affaires, au moment même où l'industrie prenait en France un essor inespéré, a été considérable, et elle mérite d'être signalée. Il convient également de rappeler la part qu'il a prise aux travaux de la commission centrale des machines à vapeur. Enfin Callon a beaucoup écrit, et ses ouvrages comportent et méritent une étude approfondie.

La veuve et les deux fils de Callon ont pensé qu'il pouvait appartenir à son parent, témoin de presque toute sa vie, de rappeler ses principaux travaux et surtout de dire quel a été cet homme aussi bon par le cœur qu'éminent par l'intelligence. J'essayerai de répondre au désir d'une famille cruellement frappée. Je n'appartiens pas au corps des mines; mais il y a entre les ponts et chaussées et les mines tant de liens d'affection que les camarades de Callon ne considéreront pas ces pages comme l'œuvre d'un étranger.

« Travaille comme ton cousin Jules Callon », était la recommandation qui m'était faite il y a plus de quarante ans. Si dans sa jeunesse studieuse et calme Callon méritait d'être cité comme modèle à ses proches et à ses condisciples, sa vie tout entière peut être donnée comme exemple aux ingénieurs et à tous les hommes qui veulent servir leur pays. Une seule année, la dernière, hélas! il a mérité une critique: il n'a pas voulu compter avec sa santé, il a prodigué ses forces sans mesure, et il a succombé.

Nous n'avons pas cherché à établir dans un ordre purement chronologique la liste des travaux accomplis par Callon dans les fonctions publiques, les entreprises industrielles, les missions temporaires; une telle liste, d'une longueur exceptionnelle, renseignerait mal sur sa vie, et ne laisserait pas voir ce qui en a été le caractère distinctif, — *l'ordre et la méthode.*

Callon a suivi, en quelque sorte parallèlement, trois grandes directions :

1° Le professorat aux Écoles des mines de Saint-Étienne, d'Alais et de Paris;

2° L'organisation et le développement de plusieurs entreprises industrielles de premier ordre;

3° La surveillance générale des machines à vapeur et l'étude de leur régime légal.

Aux travaux que comportait chacune de ces divisions de sa vie venaient s'ajouter incessamment des affaires en quel-

que sorte accessoires, mais souvent d'une extrême importance. Nous voulons parler :

De ses rapports sur les expositions universelles;

De ses mémoires sur diverses questions relatives à la géologie et à l'art des mines;

De ses communications à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale;

De ses études sur des entreprises de mines en France et à l'étranger, études faites en réponse à des demandes de consultations et donnant lieu à des réponses fortement motivées;

Enfin d'une correspondance immense avec ses collègues, ses amis et ses anciens élèves.

On peut se demander comment un seul homme a pu suffire à une telle tâche. La réponse est facile : Dieu avait accordé à Callon deux grandes grâces : en le faisant naître au sein d'une famille honorable entre toutes, il lui avait donné une intelligence exceptionnelle.

Callon, reconnaissant de ces dons, avait mis au service de cette intelligence si grande une volonté de travail incomparable. Entrant résolûment et dès ses plus jeunes années dans la voie laborieuse suivie par son grand-père, son père et son frère aîné, tous trois ingénieurs civils du plus haut mérite, il n'a jamais cessé de travailler. L'effort n'apparaissait pas au dehors, mais il était énergique et continu, *il a duré près de cinquante ans.*

Par sa famille paternelle Callon était d'origine anglaise. Son arrière-grand-père, John Callon, propriétaire d'une fabrique de velours à Warrington, dans le Lancashire, mourut en 1779, laissant quatre fils et deux filles; ces enfants, appartenant comme leurs parents à la religion catholique, furent tous élevés en France.

Trois des fils de John Callon fondèrent en Normandie, à Pont-Audemer et aux environs de Rouen, des filatures de coton et de velours avec des métiers anglais à peu près

inconnus en France. C'était en 1788. Le moment était mal choisi par des étrangers pour l'introduction en France d'une industrie nouvelle. Leur nationalité, la substitution du travail mécanique au travail à la main, tout désignait les frères Callon aux fureurs populaires. Une partie des métiers furent incendiés, et après de courageux efforts l'entreprise dut être abandonnée. L'aîné, William, retourna en Angleterre, les autres se fixèrent en France, et l'un d'eux, Charles, embrassa la carrière d'ingénieur civil, carrière dans laquelle il a été remplacé par son fils Pierre, et par son petit-fils Charles, frère aîné de l'ingénieur des mines.

Le nom de M. Charles Callon, professeur à l'École centrale des arts et manufactures et ancien président de la Société des ingénieurs civils, est connu de toutes les personnes qui ont eu à s'occuper de travaux hydrauliques; les deux frères ont suivi avec un égal succès deux branches de l'art de l'ingénieur.

I. — École des mines.

Avant de dire quels ont été les travaux de Callon dans le professorat, il n'est pas inutile de rappeler ce qu'avait été sa jeunesse et de dire avec quelle préparation il abordait la tâche toujours redoutable de l'enseignement. Si le professeur a sur son auditoire une influence morale due soit à des études antérieures incontestées, soit à une pratique étendue, son succès est assuré. A ce point de vue, peu d'ingénieurs ont eu sur leur auditoire plus d'autorité que celui dont nous racontons ici la vie.

Pierre-Jules Callon, né au Houlme (Seine-Inférieure) le 9 décembre 1815, venait avec sa famille à Paris en 1825 et entrait comme externe dans une petite pension qui suivait les cours du collége Charlemagne. Nous n'étions pas nombreux dans la pension Scribe; les répétitions y étaient

chose à peu près inconnue; mais des intelligences comme celle de Callon n'avaient pas besoin de ces stimulants, et plusieurs fois son nom retentit aux distributions de prix du concours général. Excellent élève de lettres, il passait à l'étude des sciences sans effort apparent, et, après une année de mathématiques spéciales, il entrait le deuxième à l'École polytechnique en 1834. Conservant ce rang à sa sortie, il quittait l'École des mines en 1838, le premier sur la liste de sa promotion; son camarade Le Chatelier était le second.

Après une mission accomplie en Allemagne avec Le Chatelier, Callon était nommé, le 18 mai 1839, professeur à l'École des mineurs de Saint-Étienne. Il y arrivait en possession d'une instruction littéraire et scientifique des plus étendues, instruction à laquelle il ajoutait successivement la connaissance des langues anglaise, allemande et espagnole. Avec l'habitude et le goût du travail, il possédait ce merveilleux instrument, la méthode. *Jamais pressé, mais toujours prêt*, il commençait sa carrière dans des conditions de succès que l'on a égalées, mais jamais dépassées.

1. *École des mineurs de Saint-Étienne.* — L'École des mineurs de Saint-Étienne a été fondée par le gouvernement en 1817 pour former des ingénieurs chargés de la direction des mines et des établissements métallurgiques; elle fournit aussi quelques sujets pour des emplois de garde-mines.

Le personnel de l'École se compose d'un ingénieur en chef des mines directeur, et de trois ingénieurs professeurs. Callon, nommé en remplacement de M. Gervoy qui prenait la direction des mines de Villars et plus tard celle du chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne, fut chargé du cours de mécanique et d'exploitation des mines. Son séjour à Saint-Étienne dura près de six années, pendant lesquelles il joignit à la préparation de son cours des études appro-

fondies sur les mines qui existaient dans tout le département. En même temps il continuait ses études littéraires et lisait avec une grande ardeur les livres des principaux économistes, notamment ceux de J. B. Say dont il faisait une analyse complète.

A cette époque, l'économie politique exerçait sur l'esprit des jeunes ingénieurs une séduction plus grande qu'aujourd'hui. On allait même volontiers jusqu'aux questions d'économie sociale, et plus d'un ingénieur consacrait une partie de ses loisirs à discuter les doctrines d'Enfantin et de Considérant. Plus sage, Callon sut se borner à l'étude des doctrines économiques, sans être attiré le moins du monde vers les doctrines fouriériste et saint-simonienne.

En 1844 il obtint du ministre des travaux publics l'autorisation de faire un voyage de trois mois dans l'Amérique du Nord. Le ministre, en répondant à sa demande, lui traçait son itinéraire et lui demandait d'étudier :

Le mode d'exploitation de la houille, de l'anthracite et des minerais de fer ;

La fabrication de la fonte et du fer, celle des rails, des essieux et des bandages.

Nous n'avons pas retrouvé les notes qu'il a rédigées pendant et après ce voyage, c'est-à-dire durant les derniers mois de son séjour à Saint-Étienne qu'il quittait à cette époque pour se rendre à Alais.

2. *École des maîtres-ouvriers mineurs d'Alais.* — L'École des maîtres-ouvriers mineurs d'Alais est peu connue dans le nord de la France, et il nous paraît utile d'entrer à son sujet dans quelques détails qui montreront Callon aux prises avec des difficultés absolument nouvelles pour un jeune professeur, — l'organisation d'une affaire.

Il ne s'agissait plus seulement, en effet, de suivre pour un cours le programme tracé par plusieurs prédécesseurs; il fallait, tout en s'occupant du programme à rédiger pour

une école toute nouvelle, montrer les services qu'on devait attendre de l'institution projetée, assurer le recrutement des élèves, songer à leur instruction religieuse et morale en même temps qu'à leur instruction professionnelle, et enfin veiller à ces mille détails qu'implique l'établissement d'un internat depuis les plus relevés jusqu'aux plus humbles.

L'École d'Alais a été créée par ordonnance royale du 22 septembre 1843. Cette ordonnance peut être citée comme un modèle de prévision ; elle établit avec une grande netteté le but que l'on poursuit, et qui est de donner une instruction théorique, modeste mais suffisante, à des jeunes gens justifiant, par la production de leur livret, qu'ils ont pendant un an au moins travaillé comme ouvriers dans une mine.

Les cours doivent comprendre l'arithmétique et la géométrie élémentaire, l'arpentage, le dessin linéaire, les levers souterrains, des notions de physique, de chimie, de minéralogie, de géologie et d'exploitation des mines. Tout cet enseignement doit être présenté sous la forme la plus simple et approprié à des hommes de la classe ouvrière.

Dans l'intervalle des leçons de chaque année, les élèves, pendant deux périodes différentes de trois mois chacune, sont exercés à la pratique du travail des mines dans les différentes exploitations du bassin minéralogique d'Alais.

Enfin on institue un conseil d'administration dans lequel sont représentées toutes les forces vives de la circonscription, le sous-préfet, un membre du conseil général, le maire d'Alais, l'ingénieur en chef des mines du département, l'ingénieur-directeur de l'École et deux concessionnaires de mines.

Les moyens matériels étaient modiques ; la ville offrait une partie des bâtiments de son collége et une somme de 4.553 francs ; le département du Gard donnait 3.000 fr. ; l'État payait le traitement de l'ingénieur-directeur et de deux aides ; enfin les directeurs des mines de la Grand'-

Combe, de Rochebelle, de Bességes et celui des Forges et fonderies d'Alais, offraient leur concours pour tout ce qui pouvait faciliter l'instruction pratique des élèves de la future École.

La plupart de ces offres dataient de 1841 et beaucoup de temps fut perdu. Avant d'être ouverte, l'École était attaquée. On ne fera, disait-on, que de faux ingénieurs, que des demi-savants; on découragera les bons ouvriers. M. l'ingénieur en chef des mines Dupont a parfaitement rappelé ces fâcheux pronostics.

Callon fut nommé directeur le 25 février 1845; il se mit résolûment à l'œuvre, et le 25 juillet paraissait un règlement d'administration publique complétant l'ordonnance de 1843. Ce règlement précise :

Les modestes connaissances exigées des candidats; la lecture, l'écriture, les quatre règles, une orthographe passable;

La division de l'enseignement en période théorique et en période pratique, les bases de cet enseignement, etc., etc.

Nous devons à l'obligeance de M. Dupont la communication des programmes arrêtés par le conseil d'administration le 22 octobre 1845. Ils répondent aussi parfaitement que possible au but désiré. On sent que le professeur ne perd pas un instant de vue son auditoire; il parle arithmétique, géométrie, mais à des ouvriers, simplement et en ayant soin de revenir souvent en arrière pour s'assurer que tous ont compris. Dans l'exploitation des mines, tout ce qui touche aux accidents, aux éboulements, à la ventilation, est l'objet de la plus vive sollicitude; et c'est ainsi que, pénétré de l'importance de ces sages conseils, plus d'un élève devenu maître-ouvrier aura su, au milieu des dangers qui surgissent dans la vie des mines, prendre une mesure utile et sauver son existence et celle de ses camarades.

Après les programmes d'études viennent avec la précision polytechnique :

a) Les tableaux de l'emploi du temps, jour par jour, heure par heure;

b) Les mesures d'ordre, de discipline et d'hygiène, comme la toilette à grande eau le matin dans la cour, qui donnera à des mineurs le goût et l'habitude de la propreté! Ainsi encore le règlement des corvées. Il n'y a pas de domestiques dans l'École, tous les élèves ont été ouvriers et le redeviendront; aussi chacun à son tour veille-t-il à l'ordre et à la propreté de la maison; il suffit pour cela de se lever à quatre heures du matin;

c) Enfin, la composition de l'ordinaire.

Callon, qui a dû toute sa vie tant de succès à la méthode, en assure les bienfaits à tous ceux qui l'entourent et presqu'à leur insu.

Il est quelquefois question de modifier l'enseignement de l'École polytechnique. On dit qu'il faut diminuer la théorie et aborder de suite les idées pratiques. Rien de plus erroné à mon avis. Voici un homme, des premiers de sa promotion, un des plus forts en analyse, l'émule de Delaunay, eh bien! personne ne l'égalera dans l'organisation de son École d'Alais : il précisera ce qu'il faut acheter d'huile pour la modeste cuisine de ses élèves.

Quand l'enseignement donné à une seule promotion produit des hommes comme Michel, Molard, Delaunay, Le Chatelier, Callon, pour ne parler que des morts, on peut dire que cet enseignement laissait peu à désirer, et que si une réforme était à faire, il conviendrait de revenir aux programmes d'une époque qui a donné tant d'hommes distingués au pays.

Le succès répondit aux efforts de Callon : depuis trente ans l'École d'Alais reçoit chaque année de quinze à vingt élèves, — il n'y a pas de place pour un plus grand nombre, — et chacun de ces élèves sait que son avenir est assuré.

Un des successeurs de Callon à l'École d'Alais, M. l'ingénieur des mines Ledoux, en rédigeant récemment une note sur cet établissement, ajoutait ces mots : « Le plan

« d'études tout entier et l'organisation de l'École ont été « si bien étudiés par Callon, que l'on n'a rien eu à y « changer par la suite et qu'ils fonctionnent encore aujour- « d'hui comme le premier jour. »

Callon fut appelé à Paris le 19 novembre 1848. Son départ pouvait compromettre l'institution naissante, mais il fut heureusement remplacé par son camarade Dupont; l'École eut cette bonne fortune d'être conduite pendant ses quinze premières années par deux hommes dévoués, Callon et Dupont. Ce dernier a eu la modestie de dire qu'il n'avait eu qu'à suivre le sillon tracé par son vaillant prédécesseur. Sans doute le sillon était tracé et la graine même avait déjà germé, mais la plante était jeune encore, et il a fallu bien des efforts pour arriver à récolter des fruits et des fruits abondants. Il a fallu assurer le recrutement de l'École, placer les élèves sortis (*), les suivre, les conseiller; il a fallu prouver à tous que ces jeunes ouvriers étaient devenus des maîtres, établir enfin que le titre d'élève de l'École d'Alais était un titre sérieux.

Tout cela a été fait, et que M. Dupont me permette de le dire, son nom est largement associé à celui de Callon dans le succès de l'École d'Alais.

Peut-être me reprochera-t-on ces détails; mais sans méconnaître ce qui a pu être fait d'utile à l'étranger, il me semble qu'il ne faut pas oublier notre pays et qu'il convient de dire qu'il existe en France une école excellente, fondée avec les ressources les plus modestes, et qui rend à une grande région des services incontestés.

Formons le vœu de voir se multiplier les écoles de maîtres-ouvriers, et, si je n'ajoute pas ici le mot *mineurs*, c'est

(*) Dans les documents que M. Dupont nous a confiés, se trouve une liste indiquant les positions acquises par environ cent cinquante élèves sortis de l'École d'Alais de 1847 à 1859; toutes ces positions sont honorables.

parce que les programmes de Callon peuvent s'adapter à un grand nombre d'industries (*).

Deux événements importants dans la vie de Callon se sont accomplis à Alais : le 9 juin 1846, il était autorisé par le ministre des travaux publics à accepter les fonctions de directeur des mines de la Grand'-Combe, et l'année suivante, le 24 mai 1847, il se mariait. Il épousait la fille de M. de Monet de La Marck, ingénieur en chef des ponts et chaussées du département de l'Hérault. Fils d'ingénieur, il épousait la fille d'un ingénieur, et il entrait dans une famille pour laquelle la science a été l'objet d'un véritable culte (**).

3. *École des mines de Paris.* — Nous avons dû dire ce qu'était l'École des maîtres-ouvriers mineurs d'Alais ; nous n'avons pas à donner de semblables détails pour la grande École des mines de Paris, dont tout le monde connaît les célèbres collections et l'enseignement élevé.

Fondée en 1778, réorganisée en 1816, l'École des mines a compté parmi ses professeurs Haüy, Vauquelin, Berthier, Senarmont, Ebelmen, Rivot, Élie de Beaumont, Callon ; elle a eu pour directeurs Dufrénoy et Combes. Les grandes traditions léguées par ces hommes illustres sont fidèlement suivies par M. Daubrée et ses éminents collaborateurs, et je m'applaudis presque de ne point appartenir au corps des mines, afin de pouvoir dire librement combien un tel établissement et de tels hommes honorent le pays.

Pour tout ingénieur des mines désireux de prendre part

(*) Il est en ce moment question de fonder à Douai une école de maîtres-ouvriers mineurs semblable à celle qui existe à Alais depuis trente ans.

(**) M. l'ingénieur en chef de La Marck, qui a la douleur de survivre à son fils, brillant officier de marine mort en Cochinchine, et à son gendre, Jules Callon, est le fils du grand naturaliste La Marck, membre de l'ancienne Académie des sciences et auteur de l'*Histoire naturelle des animaux sans vertèbres.*

à l'enseignement, arriver à l'École de Paris est un honneur suprême ; ingénieur ordinaire, on ambitionne une chaire ; inspecteur général, on ne peut la quitter.

Callon fut appelé à Paris le 16 novembre 1848 ; il était attaché au service des départements de Seine-et-Oise, Seine-et-Marne et Loiret, et à l'École des mines comme professeur suppléant des cours de mécanique et d'exploitation des mines. Peu de temps après il était successivement appelé au service des machines à vapeur du département de la Seine, à la commission centrale des machines à vapeur, enfin à l'École polytechnique comme répétiteur du cours de mécanique. Il ne garda que deux ans ces dernières fonctions.

Le 24 août 1856, Callon fut nommé professeur titulaire des cours dont il n'avait été chargé que comme suppléant de Combes. Tout en conservant les bases adoptées par son illustre prédécesseur, il put donner à son enseignement la direction qui lui paraissait le mieux répondre aux besoins de son auditoire.

Les professeurs qui ont l'honneur d'être chargés d'un cours, soit à l'École des mines, soit à l'École des ponts et chaussées, rencontrent deux difficultés spéciales : d'une part leur auditoire n'est pas homogène, d'autre part l'enseignement théorique et l'enseignement pratique doivent être associés dans une juste mesure.

Les deux écoles reçoivent chaque année les élèves sortis de l'École polytechnique, des élèves externes, des élèves étrangers et des élèves libres.

Les jeunes gens sortis de l'École polytechnique sont les premiers de leur promotion. A de rares exceptions près, depuis bien des années, les vingt et une places offertes habituellement par le gouvernement, trois mines et dix-huit ponts, pour parler le langage des jeunes camarades, sont prises par les vingt et un premiers sur la liste.

La différence de préparation qui existe entre ces audi-

teurs et les autres élèves est donc très-grande ; elle a été diminuée — mais point comblée — par l'institution des cours préparatoires que doivent suivre ceux des élèves externes qui désirent à leur sortie obtenir un diplôme d'élève breveté.

En second lieu, les Écoles des mines et des ponts et chaussées sont des écoles d'application comme l'École de Fontainebleau (combien d'années n'avons-nous pas dit l'école de Metz !) ; le professeur doit donc appliquer les théories exposées à l'École polytechnique et non pas les poursuivre et les développer. Mais s'il est facile de poser ce principe, il l'est moins de le suivre, surtout dans le cours de mécanique dont Callon était chargé ; si la théorie domine, on revient à la mécanique rationnelle ; si la pratique l'emporte, on se borne presque à la technologie.

Pendant huit ans nous avons fait à l'École des ponts et chaussées le cours de machines à vapeur et d'exploitation des chemins de fer, et nous avons profondément senti cette double difficulté ; nous estimons que Callon a su admirablement la vaincre. En analysant la partie de ses cours qui vient d'être imprimée, nous nous efforcerons de faire ressortir combien facilement ses leçons, tout en partant des sommets élevés de la mécanique rationnelle, arrivaient à des séries de conclusions pratiques, conclusions aussi utiles aux futurs ingénieurs de l'État qu'aux futurs ingénieurs civils des mines.

Callon a professé pendant vingt-quatre ans à l'École des mines, de 1848 à 1872 ; il n'a manqué qu'une leçon, le jour de la naissance de son second fils. Bien souvent, dans l'intervalle des leçons, il faisait des courses de Paris aux extrémités de la France, passait en wagon deux nuits sur trois, rentrait chez lui à cinq heures du matin, mettait ses notes en ordre et montait à l'heure dite à l'amphithéâtre. Sa diction était lente à dessein, sa voix un peu sourde et voilée ; mais pendant deux heures il savait retenir l'attention de son auditoire.

« L'éducation d'un ingénieur n'est complète, a écrit « Callon dans son *Cours d'exploitation*, que lorsqu'il a vu « par lui-même et dans le dernier détail un grand nombre « et une grande variété de gisements. »

Peu de personnes soupçonnaient ce labeur écrasant; on savait Callon au courant des moindres perfectionnements, des moindres faits qui se produisaient dans l'industrie des mines, mais on ignorait à quel prix il se tenait à ce niveau élevé!

A plusieurs reprises, celui qui écrit ces lignes a exprimé à Callon le désir de le voir prendre un peu de repos; il lui disait que personne ne trouverait mauvais qu'un ingénieur plus jeune le suppléât dans une partie de ses cours et fît pour lui ce que lui-même avait fait huit ans pour M. Combes. Callon s'y est refusé obstinément. Mes cours, me disait-il, sont pour moi un plaisir, un délassement. Ce n'est qu'en décembre 1872 que, vaincu par la fatigue, il a demandé un congé; mais au lieu d'employer ce congé à se reposer, il a entrepris l'immense publication qui devait résumer l'œuvre de toute sa vie. Jamais il n'a tant travaillé pour l'École des mines et pour l'honneur du corps auquel il appartenait qu'en laissant aux générations qui s'y succéderont le secours écrit de son enseignement.

Tout en s'acquittant avec un zèle extrême de ses fonctions de professeur, Callon fut attaché par le ministre des travaux publics à un certain nombre de commissions, les unes permanentes, comme celles des machines à vapeur, des *Annales des mines*, des règlements et inventions concernant les chemins de fer; les autres temporaires, mais constituées en vue d'études importantes. Nous citerons parmi ces dernières les commissions chargées d'étudier :

La révision de la loi sur les mines,

Les tramways de Paris et les chemins métropolitains.

II. — Affaires industrielles.

Le professorat, nous l'avons dit plusieurs fois, ne suffisait pas à satisfaire l'activité intellectuelle de Callon ; aussi désirait-il vivement entrer dans une de ces grandes entreprises industrielles qui sont devenues, pour n'en citer que quelques-unes, les compagnies de chemins de fer du Nord, de Paris-Lyon-Méditerranée, d'Orléans, de l'Est, d'une part, les sociétés minières ou métallurgiques de la Grand'-Combe, du Creuzot, d'autre part.

Le moment était du reste favorable. Ces grandes entreprises s'organisaient sur plusieurs points de la France et les jeunes ingénieurs se présentaient pour y prendre part. A Paris, Maniel et Le Chatelier, en 1846, entraient à la compagnie du Nord; dans l'est, Sauvage commençait, sous les ordres de M. Thirion, le chemin de fer de Metz à Sarrebruck; dans le département du Gard, M. Paulin Talabot, qui a eu, dans l'organisation des chemins de fer, des mines et des usines à fer dans toute l'Europe, une part si considérable pendant quarante années, recherchait pour les chemins de fer du Gard des ingénieurs jeunes et intelligents; il prit Audibert pour les chemins de fer et Callon pour les mines.

Ici nous éprouvons un embarras semblable à celui que nous avons signalé au début de cette étude. Comment suivre Callon dans chacune des affaires industrielles auxquelles il a été attaché, soit à titre permanent sous les noms de directeur, d'ingénieur-conseil ou d'administrateur délégué, soit à titre temporaire comme ingénieur consultant?

L'analyse des cent et quelques dossiers que nous avons retrouvés, leur seule énumération même découragerait tout lecteur; ce que nous voulons montrer, ce sont les services rendus par Callon au pays; il suffira dès lors de le voir à l'œuvre dans les affaires auxquelles il a été attaché pendant plusieurs années.

Nous citerons à cet égard :

En France:

Les mines de la Grand'-Combe;
Les établissements d'Aubin, de Denain et Anzin;
Les mines de Ronchamp et de Marles;

A l'étranger:

Les charbonnages belges;
Les mines de Sarre-et-Moselle;
Les mines de Baruelo et de Belmez, en Espagne; de Grotta-Calda, en Sicile.

Pour les autres affaires nous chercherons à dégager de la correspondance de Callon les règles, en quelque sorte fondamentales, qui lui paraissaient devoir être suivies aussi bien dans l'étude que dans la pratique.

TRAVAUX DE CALLON EN FRANCE.

1° *Mines de la Grand'-Combe.* — La compagnie des mines de la Grand'-Combe est une des plus grandes entreprises minières de la France; Callon y a été attaché à des titres divers pendant vingt-neuf ans, de 1846 à 1875. Directeur pendant deux ans, ingénieur-conseil à partir de 1848, enfin administrateur délégué en 1863, il a été, selon l'expression du président actuel du conseil d'administration de la société, M. l'ingénieur en chef Thirion, *l'âme de l'entreprise.*

Nous l'avons dit en parlant de l'École des mineurs d'Alais, — si peu connue, — on semble ignorer ce qui se passe dans notre pays; on se passionne pour des questions politiques générales ou locales sans importance, mais personne ne songe à faire l'histoire industrielle de la France. On en parle cependant volontiers, mais pour réclamer l'association des capitaux, l'émancipation de l'ouvrier, etc. Si l'on dit timidement qu'il a déjà été fait de grandes choses dans ce sens, que les chemins de fer, les grandes entre-

prises de mines sont le résultat de l'association, on vous répond « *monopole*, *féodalité financière*, *oppression de l'employé*, *de l'ouvrier.* »

Il faut pourtant s'entendre. Si l'on a désiré l'association des capitaux, c'est apparemment pour qu'elle produisît quelque chose. Il n'y a pas de création plus démocratique que celle des grandes compagnies de mines ou de chemins de fer ; les petits capitalistes porteurs de trois ou quatre actions, de cinq ou six obligations, souvent moins encore, qui les jours d'échéance font queue à nos guichets (*), doivent être bien étonnés, le soir en lisant leur journal, de découvrir qu'ils sont des seigneurs féodaux.

Quant à l'oppression, les chefs des compagnies sont assiégés de demandes d'emploi auxquelles ils ne peuvent faire droit, parce que toutes les places vacantes sont prises par les fils des opprimés.

Enfin, il faut émanciper les ouvriers; mais la première chose à faire est de les émanciper de la faim, et pour cela de leur assurer du travail.

Heureusement qu'à côté de tous les rhéteurs, de tous les sophistes, il y a des hommes énergiques qui travaillent silencieusement, qui constituent des instruments de production puissants et qui sauvent le pays. Montrons, pour nous renfermer dans notre sujet, ce qui a été fait à la Grand'-Combe (**).

La législation qui, dans notre pays et dans la plus

(*) Le nombre des personnes qui se présentent *dans un semestre* aux guichets de la compagnie de l'Est pour toucher les coupons des actions et des obligations dépasse soixante-seize mille, et dans ce nombre figurent les garçons de caisse de la Banque, des sociétés de crédit, des agents de change, les receveurs de rentes, dont les bordereaux représentent des titres appartenant probablement à des milliers de porteurs.

(**) Les renseignements qui vont suivre sont extraits de trois Notices publiées par la Société de la Grand'-Combe, mais trop peu connues; deux de ces Notices même sont autographiées, c'est-à-dire qu'elles ont été tirées à un nombre d'exemplaires insignifiant.

grande partie de l'Europe, régit les mines et la propriété minière, prévoit le morcellement. Elle a redouté le monopole de la production, et par suite l'élévation des prix, mais elle a dépassé le but. La plupart du temps, le morcellement des concessions n'a abouti qu'à l'apparition de sociétés impuissantes; on a gratté le sol aux affleurements, on a fait quelques sondages pour ne pas encourir la déchéance et l'on a attendu.

Dans le département du Gard, la situation de l'industrie houillère n'était pas brillante vers 1830 : beaucoup de concessions morcelées dans les vallons abrupts des Cévennes, mais peu de capitaux, peu de population, et point de moyens de communication.

Des hommes intelligents et courageux, à la tête desquels se trouvait M. Paulin Talabot, commencèrent par grouper six concessions houillères accordées de 1782 à 1817 à diverses personnes; puis ils obtinrent la concession des chemins de fer d'Alais à Beaucaire et d'Alais à la Grand'-Combe; en 1837 était constituée la société en commandite des mines de la Grand'-Combe et des chemins de fer du Gard.

La réunion des concessions dans une seule main donnait déjà une grande unité de direction. Dès que les chemins de fer assurant un débouché dans la vallée du Rhône furent ouverts, on développa l'extraction qui en dix ans, de 1836 à 1845, s'éleva de 34.432 tonnes à 295.618.

Ce développement de la production était magnifique; mais l'exploitation se faisait « sans aucun projet d'ensemble, sans méthode et sans ordre; on attaquait les charbons les plus facilement accessibles et les plus rapprochés des routes.

« Dès l'année 1846, l'administration de la compagnie comprenait qu'elle devait apporter dans l'exploitation de ses richesses la régularité et la méthode, et elle faisait commencer l'étude des terrains et de l'aménagement général. »

Nul plus que Callon ne pouvait répondre au désir que l'on manifestait de voir apporter dans une affaire de la régularité et de la méthode.

Cependant les problèmes à résoudre étaient considérables; il fallait, sans rien interrompre :

1° Développer les travaux commencés dans des conditions convenables ;

2° Modifier la marche dans les galeries mal attaquées;

3° Reprendre les vieux travaux là où il existait encore beaucoup de houille, combattre les feux naturels, se préserver des eaux accumulées dans les vieux travaux noyés;

4° Adopter des modes de roulage mécaniques, désirables partout, mais indispensables dans un pays où la main-d'œuvre était rare ;

5° Enfin, assurer l'avenir par l'aménagement.

Callon se mit résolûment à l'œuvre ; il se trouvait en face d'un problème vraiment magnifique pour un ingénieur: arracher du sein de la terre les richesses qu'elle renferme et demander aux forces naturelles la plus grande partie du travail à accomplir. Son champ d'études avait une superficie de 92.000 hectares, deux fois l'étendue du département de la Seine ; le relief du sol était fort accidenté et présentait des différences d'altitude de plus de 300 mètres.

Ces différences d'altitude permettaient de recourir à l'action de la gravité, soit pour aller chercher dans des carrières et amener à l'intérieur des mines les remblais destinés à remplacer le charbon dans les excavations, soit pour conduire au dehors les wagons chargés de houille, et ramener sur quelques points les wagons vides au point de départ.

Le système général d'exploitation du bassin de la Grand'-Combe se divise en deux branches bien distinctes : dans une partie, la plus anciennement attaquée, on exploite par galeries et avec des plans inclinés débouchant au jour;

dans la seconde partie, la plus importante pour l'avenir, on exploite et l'on exploitera par puits.

Les plans inclinés étaient donc connus à la Grand'-Combe avant 1846; mais, à partir de cette époque, leur application se poursuit sur la plus grande échelle; ils sont poussés aux plus hauts sommets pour charger les remblais, ils descendent dans les mines et reparaissent au jour pour conduire les houilles aux quais de chargement ou aux usines dans lesquelles elles seront lavées, transformées en coke ou en agglomérés (*).

Il nous serait impossible de décrire tous ces plans inclinés sur lesquels la gravité remplit toujours son rôle silencieux; sur quelques points, deux ou trois ouvriers agissent sur des freins et suffisent à assurer la marche régulière de 1.800 bennes par vingt-quatre heures. Les wagons vides sont remontés tantôt par les wagons pleins, tantôt par des appareils hydrauliques qu'alimentent les eaux des mines.

Cette première partie du service assurée, il fallait s'occuper de l'avenir. — Il n'y a pas, en effet, de travaux de plus longue haleine que les travaux de mines; il faut des années pour foncer des puits, ouvrir des galeries, et l'importance de ces travaux est la meilleure réponse à faire aux partisans des exploitations morcelées. — L'allure générale des couches fut reconnue dans une partie de la concession, l'emplacement des puits déterminé avec une grande précision et l'aménagement assuré pour une production normale de 700.000 tonnes; en 1874 on en a extrait 613.000.

Mais il ne suffit pas de rédiger des projets et de résoudre les difficultés d'un ordre purement scientifique. Des diffi-

(*) En 1874 il a été fabriqué, à la Grand'-Combe, 178.000 tonnes d'agglomérés; quelques années auparavant on laissait dans certaines exploitations 40 p. 100 de houille extraite: personne ne savait utiliser les charbons en poudre.

cultés d'un autre ordre s'imposent aux ingénieurs et aux hommes placés à des titres divers à la tête des grandes entreprises industrielles : il faut trouver des collaborateurs à tous les degrés, et assurer à chacun d'eux, aux plus humbles surtout, les moyens de se procurer les choses nécessaires à la vie.

A la Grand'-Combe la tâche n'était pas aisée ; les plateaux, couverts de châtaigniers et de bruyères (*), se refusent à la culture des céréales ; la population est très-clair-semée dans les Cévennes et, en 1836, bien que les mines fussent déjà exploitées, la commune de la Grand'-Combe n'avait que 574 habitants ; trente ans après, elle en avait 9.367.

Nous tracerons une nomenclature succincte des travaux faits par la société de la Grand'-Combe pour donner satisfaction aux besoins matériels et moraux de cette agglomération importante :

Construction de casernes offrant 33.500 mètres d'espace couvert ;

Organisation d'un magasin de subsistances et d'objets de première nécessité permettant de vendre le pain, le vin, la viande au-dessous des prix courants, et fonctionnant dans les années difficiles comme régulateur des prix (le montant des ventes faites par ce magasin a crû d'année en année et, en 1874, il s'est élevé à 1.917.000 francs ; aucune difficulté ne s'est produite) ;

Construction d'une église catholique qui a coûté 410.000f, d'une chapelle à Champclauson, d'un temple protestant, d'une mairie, d'écoles de garçons et de filles dirigées par les frères des écoles chrétiennes et par les sœurs de Saint-Vincent-de-Paul, d'écoles protestantes, de salles d'asile, de presbytères, etc...

(*) La société de la Grand'-Combe poursuit avec une grande persévérance la création d'un sol forestier ; elle a couvert de plantations de pins maritimes plus de 1.400 hectares. Ces plantations réussissent parfaitement.

Les chefs de l'entreprise de la Grand'-Combe peuvent justement s'enorgueillir des résultats obtenus. L'avenir matériel est assuré par des travaux préparatoires presque complétement achevés et qui aménagent plus de 80 millions de tonnes de houille. En même temps il existe entre les ouvriers et la direction un accord complet et une confiance mutuelle; le pays tout entier arrive à l'aisance. Depuis 1848 il n'y a eu ni grèves, ni révoltes, ni agitations politiques, et tout fait espérer la continuation d'un état de choses si honorable pour les patrons et pour les ouvriers.

Sans aucun doute ces grands résultats sont principalement dus aux efforts persévérants de la direction locale de M. Beau et de ses collaborateurs dévoués; mais nous n'hésitons pas à dire que l'on doit en attribuer une part, et une part importante, à l'administrateur délégué. Par sa connaissance approfondie du pays et de sa constitution géologique, par sa haute raison, par sa bienveillance, Callon a exercé à la Grand'-Combe une influence considérable. Il y allait souvent et il y séjournait volontiers. Dans cette atmosphère, en quelque sorte sympathique, de succès légitimes, de bon ordre, de travail, il se savait respecté de tous, aimé de tous ceux qui l'avaient approché.

Monument élevé à la mémoire de Callon. — A la nouvelle de la mort de Callon, tous les conseils d'administration des entreprises auxquelles il était attaché ont consigné aux registres de leurs délibérations l'expression des sentiments que leur faisait éprouver une si grande perte. Le conseil d'administration de la Grand'-Combe a fait plus : dans sa séance du 11 juin 1875, il a décidé qu'un monument serait élevé à la mémoire de Callon sur une des places de la Grand'-Combe, et qu'une inscription commémorative rappellerait les services rendus par cet ingénieur éminent. « La compagnie, dit la délibération, n'oubliera pas qu'elle lui est, en grande partie, redevable de sa prospérité. »

2° *Établissements d'Aubin.* — En 1857, la compagnie des chemins de fer d'Orléans, héritière pour la plus grande partie de la compagnie du Grand-Central, s'est trouvée, de ce fait, en possession des établissements d'Aubin. Ceux-ci comprenaient :

a) Plusieurs concessions houillères tant dans le bassin d'Aubin que dans celui des environs de Rodez;
b) Quatre usines à fer;
c) Des concessions de minerai de fer, de cuivre et de plomb argentifère.

Après avoir constitué, pour l'exécution des chemins de fer qui provenaient de cet héritage, un réseau spécial et en avoir donné la direction à M. l'ingénieur en chef Thirion, le conseil d'administration de la compagnie d'Orléans, un peu embarrassé des difficultés que paraissait comporter la gestion de ces établissements, jugea utile de nommer auprès du comité et de la direction un ingénieur-conseil chargé d'étudier toutes les questions techniques. « Les fonctions d'ingénieur-conseil, lisons-nous dans le rapport de 1858, ont été confiées à M. Callon, ingénieur en chef des mines, *dont le nom fait autorité dans l'industrie.* »

Le premier soin de la direction du réseau central avait été d'examiner si la production des houillères et des établissements métallurgiques était en rapport avec le développement des voies de circulation et avec les besoins de la compagnie d'Orléans; on jugea prudent de limiter la production houillère à 80.000 tonnes, et celle des rails à 7.000 tonnes, sauf à imprimer aux exploitations une activité nouvelle dès que l'on serait en possession des chemins de fer en construction.

En même temps les conditions de l'exploitation technique étaient l'objet de l'attention la plus sérieuse.

Des schistes charbonneux, qui avaient été employés comme remblais et qui s'échauffaient d'une manière inquiétante, furent enlevés et remplacés par des remblais terreux.

Deux années suffirent pour arriver à une marche normale; la production houillère s'élevait :

En 1860, à 146.000 tonnes;
En 1868, à 186.000 tonnes.

Concentrée à Aubin, la fabrication des rails donnait :

En 1860, 12.500 tonnes;
En 1868, 26.500 tonnes.

Dans cet intervalle, la compagnie d'Orléans, sur les conseils de la direction du réseau central, aliénait les concessions et les établissements éloignés d'Aubin, de manière à ne conserver qu'un centre de production aussi bien pour la houille que pour le fer.

Les rapports présentés chaque année aux assemblées générales des actionnaires par le conseil de la compagnie d'Orléans permettent de suivre les progrès réalisés tant sous le rapport de l'augmentation des produits que sous celui de la diminution du prix de revient. Les paragraphes consacrés dans ces rapports à la régie d'Aubin montrent que le prix des rails, fixé d'abord à 330 francs la tonne, s'abaisse successivement à 230 francs et à 200 francs, et descend même au-dessous de ce dernier chiffre.

La régie d'Aubin offrait aux ingénieurs qui en étaient chargés un grand attrait. Le but à atteindre était la fabrication des rails; mais, comme on avait sur place le combustible et les minerais, on se trouvait dans une indépendance que peuvent rarement obtenir les forges obligées de compter, les unes avec les producteurs de minerais; les autres avec le commerce des combustibles.

Par les conseils de Callon, les réformes d'abord, les perfectionnements ensuite, furent introduits partout :

Les mines sont sagement aménagées en vue d'une production déterminée;

La marche des hauts fourneaux, malgré la pauvreté et

la nature rebelle desminerais, est régulière et la consommation du coke réduite;

Les fours à coke sont transformés.

Callon eut à lutter contre une difficulté spéciale, — la mauvaise qualité de l'eau dont on pouvait disposer pour l'alimentation des chaudières à vapeur. Ces eaux contenaient de l'acide sulfurique, et la destruction des tôles était tellement rapide que les réparations ne coûtaient pas moins de 60 à 70.000 francs par an. On prit le parti héroïque d'aller chercher les eaux du Lot à 9 kilomètres de distance et à un niveau inférieur de 100 mètres à celui des établissements. L'opération a complétement réussi; les chaudières ont été alimentées d'une manière normale, et l'eau a pu être donnée au village de Gua, dans lequel cinq à six cents familles d'ouvriers manquaient absolument d'eau potable.

La sollicitude de Callon se portait en même temps, et toujours de la façon la plus active, sur les mines métalliques, et les travaux, après un mûr examen, étaient concentrés sur un filon de plomb argentifère exploité par le puits de la Baume. En 1867, l'exploitation donna 626 tonnes de minerai qui furent vendues directement au commerce et produisirent une somme de 300.000 francs supérieure à tous les frais d'exploitation et de recherches.

En résumé, l'acquisition des établissements d'Aubin, qui avait été plutôt subie qu'acceptée par la compagnie d'Orléans et qui paraissait dès le principe constituer la partie la plus onéreuse de l'héritage de la compagnie du Grand-Central, n'est plus une charge pour la compagnie d'Orléans. Celle-ci y trouve au contraire un appoint précieux pour les approvisionnements de la traction et de la voie, et, pour ce dernier service, un instrument de modération dans les prix généraux du marché des rails.

Les motifs qui avaient engagé la compagnie d'Orléans à constituer le réseau central n'existaient plus en 1867,

et M. l'ingénieur en chef Thirion se retirait après avoir accompli la tâche difficile qu'il avait acceptée. Callon prit alors la direction de la régie d'Aubin, et dans cette situation nouvelle il eut occasion de déployer, lors des circonstances graves que tout le monde connaît, la sagesse et l'énergie de son caractère.

En mars 1870 il quittait la compagnie d'Orléans en y laissant, dit le Rapport de cette année, les meilleurs souvenirs.

3° *Hauts fourneaux et forges de Denain et Anzin.* — Pendant six années, de 1866 à 1872, Callon a fait partie du conseil d'administration de la compagnie des hauts fourneaux et forges de Denain et Anzin, et il pouvait être considéré comme le directeur technique de ce grand établissement.

Durant cette période, l'organisation des usines fut améliorée, l'outillage en partie renouvelé, et la production annuelle atteignit le chiffre de 40.000 tonnes.

Sur les conseils de Callon, le projet d'une aciérie semblable à celles qui existent dans le centre et dans le midi de la France fut préparé; mis à exécution depuis son départ, ce projet a doté le département du Nord d'une industrie nouvelle et considérable.

4° *Mines de Ronchamp* (*Haute-Saône*). — Le bassin houiller de Ronchamp, situé à la pointe sud-est du département de la Haute-Saône, à 22 kilomètres de Belfort, aux portes de l'industrieuse Alsace, trouve très à portée un débouché facile et important. Callon y a rempli pendant de longues années les fonctions d'ingénieur-conseil, et il a pris part aux plus grandes opérations :

a) Fonçage de quatre puits de 300 à 600 mètres de profondeur; deux autres commencés; tous à travers des terrains difficiles;
b) Établissement des fours à coke;
c) Création d'un réseau de voies ferrées, etc., etc.

En me donnant ces détails, un des membres du conseil de Ronchamp ajoutait : « Par son sens éprouvé, par son « calme constant au milieu des discussions quelquefois « pénibles, comme en face des plus graves accidents, « Callon nous inspirait à tous autant de confiance que « d'affection. »

Nous retrouvons partout la même impression ; on ne pouvait en effet se trouver en contact avec Callon sans prendre confiance en lui et sans l'aimer.

Callon eut à traiter à Ronchamp une question qui se présente bien souvent dans l'industrie des mines et que nous retrouvons constamment sous sa plume, — la réunion en une seule de deux ou de trois concessions.

Les concessions dites de Ronchamp et d'Éboulet demandaient au gouvernement l'autorisation de se réunir, et l'on ne manquait pas d'objecter que cette réunion aurait pour conséquence l'élévation des prix, l'oppression du pays par une société devenue trop puissante, etc., etc..... Callon répondait :

« L'objet de la réunion projetée n'est pas de constituer « un monopole, mais au contraire de lutter contre un mo« nopole déjà constitué, celui des mines de Sarrebrück, « monopole d'autant plus dangereux qu'il est entre les « mains d'un gouvernement étranger. En cas de guerre, « l'industrie de tout l'est de la France pourrait se trouver « subitement paralysée, s'il n'existait pas en France même « des mines établies dans des conditions qui leur permettent « de soutenir la concurrence des charbons étrangers. »

Les faits n'ont-ils pas répondu aux prévisions de Callon, et ne devons-nous pas désirer l'accroissement par tous les moyens possibles de la puissance de production du seul bassin houiller que la France possède encore sur ses frontières de l'Est ?

5° *Mines de Marles* (*Pas-de-Calais*). — La compagnie

des mines de Marles exploite une des riches concessions du Pas-de-Calais. Fondée en 1852, elle s'est développée lentement. En 1867, au moment où Callon devint son conseil, elle n'avait qu'une fosse en activité et une autre en construction. Depuis cette époque, cette seconde fosse a été achevée et mise en service; une troisième est en fonçage, et des travaux sont en cours d'exécution pour doubler le rendement de la première. L'extraction qui, en 1867, ne dépassait pas 100.000 tonnes, a atteint, en 1873, le chiffre de 251.000 tonnes. Dans deux ans la concession sera en mesure de livrer au commerce chaque année, si celui-ci les réclame, de 450 à 500.000 tonnes.

La concession de Marles, comme toutes les houillères du Pas-de-Calais et du Nord, rencontre une difficulté considérable, — le recrutement de la population ouvrière: dans ces riches départements la main-d'œuvre abonde et l'ouvrier ne descend pas toujours volontiers dans la mine.

La correspondance de Callon révèle cette incessante préoccupation. Nous lisons dans une de ses lettres de 1872:

« Le recrutement est pour nous en ce moment la grande « affaire; nous sommes limités, non par la puissance de « production des travaux, non par le manque d'habita- « tions pour les hommes, mais par le *manque d'hommes* « *pour nos chantiers et nos maisons*.

« ... Il faut éviter vis-à-vis des autres industries l'ap- « parence d'une compétition trop directe, d'une *sorte* de « mise aux enchères qui se traduirait bien vite en aug- « mentations de salaires onéreuses et *inefficaces*. »

En 1874, il revient encore sur cette grave question:

« La hausse des salaires est due à la fois à l'augmenta- « tion du prix des journées, fait général contre lequel il « était impossible de lutter en présence de ce qui se pas- « sait dans les autres charbonnages, et à la diminution de « l'effet utile de l'ouvrier, *conséquence malheureusement* « *assez ordinaire de l'augmentation du prix de la journée*. »

Callon signale et insiste sur un fait économique douloureux : dans beaucoup d'industries, la production diminue en raison inverse de l'élévation des salaires ; mieux payé, l'ouvrier travaille moins. Comment un pays tout entier peut-il s'enrichir si la production diminue, si même elle reste stationnaire? Rien de plus légitime que l'aspiration de l'ouvrier à un salaire meilleur, nous le proclamons hautement ; mais, cette augmentation obtenue, qu'il ne cesse pas de travailler !

TRAVAUX DE CALLON A L'ÉTRANGER.

Les travaux de Callon à l'étranger ont été considérables. Nous avons dit que dès 1844 il obtenait du ministre des travaux publics l'autorisation d'aller en Amérique ; depuis il a fait un nombre considérable de voyages en Belgique, en Angleterre, en Allemagne, en Espagne. Nous ne citerons que quelques-uns de ces travaux.

1° *Société anonyme de Charbonnages belges.*—La compagnie de Charbonnages belges, dont Callon a été administrateur de 1866 à 1875, se compose des concessions de l'Agrappe et Grisœuil et de l'Escouffiaux, d'une étendue totale de 4.061 hectares, dans le bassin du couchant de Mons.

L'extraction par année est en moyenne de 4 millions d'hectolitres ; elle n'a pas sensiblement varié depuis vingt ans.

2° *Mines de Sarre-et-Moselle.* — Peu de temps après l'ouverture du chemin de fer de Metz à Sarrebruck, on se préoccupa de mettre en valeur les gîtes de houille formant, sur le territoire alors français, le prolongement des couches puissantes exploitées sur le territoire allemand. Plusieurs sociétés se formèrent et entreprirent des travaux qui pour la plupart n'aboutirent qu'à des mécomptes, à

raison des difficultés que présentait la traversée des morts terrains très-épais et très-aquifères.

Deux sociétés sur neuf (le morcellement des concessions avait été largement appliqué) atteignirent la houille : celle de L'Hôpital et celle de Carling.

La société de L'Hôpital, qui avait commencé ses travaux longtemps après les autres, put recourir aux procédés de fonçage Chaudron, et elle réussit facilement.

La compagnie de Carling entreprit le fonçage de son puits par les anciens procédés; jusqu'à 160 mètres de profondeur, elle eut à lutter contre de véritables torrents d'eau, et elle ne parvint à organiser qu'une exploitation fort restreinte et souvent interrompue. Mais Callon était son conseil, et c'est grâce à son concours que tant de difficultés furent vaincues.

Plus tard, quand il fut nommé ingénieur-conseil de la société générale, Callon profita de cette situation pour constituer et préparer, sous le patronage de cette grande compagnie financière, la fusion des neuf compagnies du bassin français. L'affaire était arrivée à terme lorsque survinrent les événements de 1870 qui la firent abandonner. Reprise depuis, elle a été menée à bonne fin sur des bases peu différentes de celles qui avaient été adoptées en 1870, et, quoique allemande par le fait de l'annexion, l'entreprise de Sarre-et-Moselle est restée à peu près exclusivement entre des mains françaises. Callon n'avait pas conservé dans la nouvelle organisation un titre officiel; mais son expérience était souvent, à titre officieux, mise à contribution.

Là comme à Marles, comme à Ronchamp, comme à la Grand'-Combe, et nous pouvons dire comme dans toutes les entreprises, sa mort laisse un vide qui ne sera pas comblé.

3° *Mines de houille et établissements métallurgiques en Espagne.* — Callon s'est beaucoup occupé du développe-

ment de l'industrie minière et métallurgique en Espagne; il a fait de nombreux voyages à ce pays, et dans toutes les questions techniques son nom avait acquis une très-grande autorité.

Il nous est impossible d'analyser les rapports qu'il a laissés sur l'Espagne; il a successivement étudié et souvent à plusieurs reprises :

Les minerais de fer de Bilbao et de toute la côte;
Les mines de cuivre gris argentifère de l'Aragon;
Les mines de plomb de Linarès;
Les mines de mercure des Asturies;
Les bassins houillers de presque toute la Péninsule.

Dans toutes ces études, Callon montre à la fois sa profonde instruction professionnelle et son immense bon sens. Après avoir apprécié les richesses enfouies dans le sol, il recherche s'il existe des chemins, s'il est possible d'en créer, s'il y a une population ouvrière, ce qu'il faut faire pour en attirer une et surtout pour la retenir.

Sur quelques points il conseille de construire des usines à fer; il prouve qu'on peut arriver en Espagne à produire du fer à aussi bon marché qu'en Belgique. Sur d'autres points, au contraire, il faut, suivant lui, se contenter de chercher à vendre soit la houille, soit les minerais.

Nous dirons quelques mots de deux affaires qui ont été créées à la suite des travaux de Callon : nous voulons parler des charbonnages de Baruelo et de Belmez.

Charbonnage de Baruelo. — Il y a une quinzaine d'années Callon fut chargé par la société du Crédit mobilier espagnol d'étudier la formation carbonifère de la Castille, et de déterminer sur quels points de ce vaste bassin il conviendrait d'ouvrir une exploitation destinée à assurer le service du chemin de fer du Nord.

Après un long et pénible voyage à cheval dans les Asturies et sur le versant sud de la chaîne Cantabrique, il fit un

remarquable rapport sur la question qui lui était posée. Adoptées par le Crédit mobilier espagnol, ses conclusions déterminèrent la création à Barruelo d'un grand centre minier.

La population ouvrière, installée dans des régions à peu près désertes, s'élève aujourd'hui à 3.000 âmes, et la production houillère dépasse 100.000 tonnes.

Compagnie houillère et métallurgique de Belmez. — En 1866, les principaux concessionnaires du bassin houiller de Belmez et de l'Espiel s'efforcèrent de constituer en une seule société les deux cents et quelques mines qui existaient dans ce bassin. Il fut impossible de réaliser une fusion complète; mais on parvint à grouper un assez grand nombre de concessions qui se réunirent sous le nom de Compagnie houillère et métallurgique de Belmez. La présidence du conseil d'administration de cette société étrangère fut donnée à Callon, qui avait pris une grande part à l'étude de la valeur des concessions isolées. Dans cette situation, il eut occasion de rendre un véritable service à toute l'industrie espagnole. La loi du 6 juillet 1859 sur les mines avait poussé le système du morcellement des concessions au delà de toute mesure; la propriété minière était divisée en une multitude de petits rectangles sur chacun desquels, à peine de déchéance, le concessionnaire était obligé d'employer un nombre déterminé d'ouvriers pendant un nombre fixé de jours dans l'année. Une loi votée par le congrès, le 13 juillet 1867, a modifié cette situation d'une manière notable, et les personnes qui poursuivirent en Espagne cette révision d'un régime ancien s'inspirèrent fréquemment des conseils de Callon.

Callon aimait l'Espagne et nous l'avons, à plusieurs reprises, entendu dire que ce magnifique pays ne manquait que d'une chose, — le travail ou un instrument de travail. Il aura beaucoup travaillé pour lui assurer ce bienfait.

4° *Compagnie soufrière de Grotta-Calda* (*Sicile*). — Les procédés d'exploitation des mines de soufre en Sicile sont probablement encore aujourd'hui sur beaucoup de points ce qu'ils étaient il y a mille ou quinze cents ans : des enfants pénètrent dans des galeries irrégulières à travers lesquelles le passage est à peine possible, et ils rapportent sur leur dos quelques kilogrammes de minerai. Cette méthode barbare entraîne une énorme mortalité parmi ces enfants et une dégradation physique et morale pour ceux qui y résistent quelques années.

D'après les conseils de Callon, une exploitation comparable aux grandes exploitations du continent a été organisée pour arriver aux richesses enfouies dans la mine de Grotta-Calda. Un puits de 140 mètres a été foncé et muni d'une puissante machine d'extraction ; des routes ont été créées pour permettre les transports. En un mot, les méthodes de l'exploitation moderne et humaine se substitueront aux méthodes de l'exploitation ancienne et cruelle.

De telles transformations ne s'opèrent qu'au prix du temps ; les travaux décidés en 1869 s'achèvent en ce moment seulement, mais tout fait espérer que les capitaux français engagés dans cette affaire y trouveront une rémunération convenable.

Affaires diverses. — Les affaires dans lesquelles Callon a été consulté sans prendre part à leur gestion sont, nous l'avons dit, très-nombreuses. Ces consultations lui étaient demandées :

Soit par de grands établissements de crédit, tels que le Crédit mobilier et la Société générale ;

Soit par des tribunaux de première instance ou d'appel qui, en l'associant à des hommes tels que Combes, Juncker, Sauvage, Flachat, montraient leur désir de voir élucidées par les ingénieurs les plus capables du pays les questions difficiles qu'ils avaient à résoudre ;

Soit, enfin, directement par des propriétaires d'usines, des ingénieurs, des diplomates même, désireux les uns et les autres d'être renseignés sur des affaires concernant leurs intérêts, leur service ou la prospérité de pays étrangers.

Le rôle des hommes placés à la tête de grands établissements de crédit fondés en vue de développer l'industrie et le commerce, est fort difficile. Ils sont véritablement assiégés de demandes de concours pécuniaire. S'il s'agit de mines, d'usines situées souvent à des distances fort éloignées, quelquefois hors d'Europe, il faut être renseigné sur la situation actuelle de ces mines et de ces usines, sur les chances favorables qu'elles peuvent espérer, sur la capacité des hommes qui les dirigent.

La confiance que les plus grandes sociétés financières de Paris avaient, à cet égard, dans le jugement de Callon était extrême ; nous en avons trouvé une singulière preuve.

Des maîtres de forges, dans le but de développer leur industrie, s'étaient adressés à deux grands établissements de crédit pour obtenir de l'un ou de l'autre un concours financier de 1.500.000 francs. C'est à Callon que la demande est transmise par ces deux établissements, convaincus l'un et l'autre que personne ne pouvait mieux que lui les éclairer.

Les affaires dont l'examen était confié à Callon, soit comme expert, soit comme arbitre, étaient toujours des plus graves. Citons :

Les dommages causés à une région par l'exploitation souterraine de ses mines ;

L'appréciation des modifications, en bien ou en mal, apportées à la chose louée par le fermier d'un établissement métallurgique ou d'une mine ;

L'analyse de procédés de fabrication, tels que l'utilisation de la chaleur perdue des hauts fourneaux, l'emploi des convertisseurs Bessemer, la fabrication du coke et les

revendications que l'existence des brevets d'invention fait naître dans ces matières délicates.

Nous retrouvons dans toute la correspondance de Callon le développement de deux pensées critiques qui se reproduisent constamment, — d'une part et en haut : absence de direction technique considérant les choses d'un point de vue élevé et dans leur ensemble; — d'autre part et en bas : absence de plans, de registres, de journaux constatant ce qui a été fait et laissant l'exploitant du jour dans l'ignorance de ce qu'a fait l'exploitant de la veille.

Faut-il le dire en un seul mot? *absence de méthode.*

Les choses ont certainement changé; mais les services rendus par Callon, comme directeur technique, dans un grand nombre d'entreprises, auront certainement éclairé beaucoup de personnes à cet égard.

Il faut un intermédiaire entre un conseil composé d'hommes éclairés, intelligents, au courant des affaires commerciales, mais qui souvent ne peuvent donner qu'un temps limité à une affaire, il faut, dis-je, un intermédiaire entre ces hommes et les agents locaux chargés souvent d'un service spécial.

Avec la meilleure volonté du monde, les agents locaux ne peuvent voir les choses d'ensemble. L'un concentrera son activité sur les services extérieurs d'une mine ; l'autre, sur les puits et sur le service des galeries. Aucun d'eux ne songera que l'avenir de l'exploitation peut être transformé par la substitution d'un système à un autre. Tel ingénieur local saura que sa ventilation serait bien améliorée s'il pouvait combiner ses travaux avec ceux d'une concession voisine; mais il n'a pas qualité pour entreprendre et conduire à bonne fin des négociations de cet ordre.

Nous pourrions multiplier indéfiniment ces exemples; tous montrent les avantages d'une direction supérieure réglant les conflits qui peuvent se produire, s'occupant de

substituer des méthodes perfectionnées à des méthodes nouvelles, enfin s'occupant de l'avenir.

En ce qui concerne, si nous pouvons nous exprimer ainsi, la vie intérieure de la mine, Callon n'est pas moins affirmatif dans ses conseils. Il demande incessamment qu'il soit tenu des registres journaliers, hebdomadaires ou mensuels selon les cas, pour constater l'avancement des puits ou des galeries,—les quantités extraites,—les incidents qui se sont produits surtout au point de vue de la ventilation,—la date des visites faites par les ingénieurs,—le résumé des conseils qu'ils ont donnés aux maîtres-mineurs.

Avec ces registres accompagnés de croquis cotés et de plans qui les résument, on verra dans l'intérieur d'une mine comme dans un grand chantier extérieur. Si des travaux sont abandonnés et que l'on veuille un jour les reprendre, à ce moment on saura quelles ont été les difficultés anciennes et l'on pourra se préparer à vaincre les nouvelles.

Le grand ennemi dans une mine, c'est l'inconnu. Il dépend de nous, dit, écrit et répète sans cesse Callon, de le vaincre; puis, dans une lettre écrite en 1872, il ajoute :

« Je suis très-persuadé qu'on peut facilement, en en« trant dans la voie que je viens d'indiquer, augmenter « beaucoup l'utilité de ces registres, non-seulement pour « ceux qui pourront avoir plus tard à les consulter, mais « pour ceux mêmes qui les rédigent, en les amenant natu« rellement à résumer leur idées pour en consigner l'expres« sion sur leurs registres. J'ai toujours considéré que des « rapports étaient utiles au moins autant à ceux qui les « rédigent qu'à ceux qui ont à les lire. »

Dans les nombreuses questions posées à Callon, il en est une que nous avons vue plusieurs fois reproduite, celle de savoir s'il convenait de réunir en une seule plusieurs exploitations d'une même circonscription, s'il convenait, en un mot, de faire une fusion.

On reconnaîtra qu'il est difficile de présenter sur un pareil sujet une sorte de théorie, et cependant Callon y parvient. Il commence par établir, d'une manière très-précise, la situation de chaque concession, exploitation ou établissement. Si la concession n'existe encore que sur le papier, il précise quels sont les obstacles qui se sont opposés à la mise en valeur, tels qu'absence de capitaux, d'ouvriers, de chemins de débouchés. Si la concession est exploitée, si l'établissement marche, il examine quelles sont ses charges en actions, en obligations, quel est son fonds de roulement, quels sont ses revenus et quel en est le caractère fixe ou accidentel, quels sont enfin les obstacles qui peuvent s'opposer au développement de chaque établissement isolé.

Cette première reconnaissance opérée, Callon suppose la fusion réalisée; il évalue la diminution de dépenses que pourra réaliser une direction unique substituée à des directions isolées, et quelles seront les conséquences de cette unité d'action. Ainsi telle concession de mine mal ventilée sera transformée si, en poussant une galerie sur une concession voisine, elle peut atteindre un puits d'aérage. Ainsi, en réunissant les produits de deux ou trois exploitations, on arrivera à offrir au commerce, avec plus de sûreté et de régularité, les qualités constantes qu'il réclame. Ainsi encore deux ou trois forges feront à la fois de la fonte brute, du moulage, peut-être même du fer. Callon examine si l'une d'elles ne travaillerait pas d'une manière plus fructueuse en ne produisant que de la fonte en gueuse, et telle autre en ne faisant que du moulage ou bien du fer pour des boulons, et non pas pour des rails, ou inversement, etc., etc.

Voilà la question générale résolue; il faut maintenant préciser pour chaque établissement les conséquences de la fusion. Callon reprend alors le chemin qu'il a parcouru; il démontre à la concession dont l'exploitation était mal ventilée qu'elle doit tenir compte à la concession voisine d'une partie de la valeur du puits d'aérage dont elle va tirer parti; il

prouve à tel maître de forges que s'il cesse de faire de la fonte brute, — qu'il ne produisait pas économiquement, — sa situation sera améliorée; à tel autre que les qualités du minerai qu'il possède sont éminemment propres à faire des fers fins et qu'il faut renoncer aux rails et aux fers à plancher, etc.

Quelquefois la fusion projetée ne devra aboutir qu'à un syndicat pour le placement des produits; dans ce cas, chaque usine conserve sa liberté pour fabriquer des objets définis, mais elle n'a plus à s'occuper de la vente, et la gestion technique se sépare de la gestion commerciale.

Rien de plus complexe que tout ceci; mais avec son bon sens imperturbable Callon porte la lumière partout, et quand on arrive à la fin de ses lettres et de ses mémoires, on se dit: Mais la chose est des plus simples, comment ne l'avions-nous pas vu?

III. — Commission centrale des machines à vapeur.

La commission centrale des machines à vapeur doit être comprise au nombre des plus anciennes commissions permanentes instituées au ministère des travaux publics ou à la direction générale des ponts et chaussées et des mines, placée autrefois dans les attributions du ministère de l'intérieur.

Le rôle de ces commissions permanentes est considérable. Il consiste à étudier, pour une catégorie déterminée d'affaires, les dossiers adressés à l'administration centrale et à rédiger des avis qui préparent soit les décisions ministérielles, soit les projets de décrets à transmettre au conseil d'État.

La première pièce officielle que M. l'ingénieur en chef Hanet Cléry, successeur de Callon, et moi, ayons pu trouver, est une circulaire en date du 1er avril 1824, et dans

La commission centrale des machines à vapeur prit l'initiative, et, sur sa proposition, le ministre des travaux publics demanda aux ingénieurs chargés de l'inspection des appareils à vapeur, aux commissions de surveillance, aux sociétés industrielles et aux principaux constructeurs ou manufacturiers de chaque département, leurs observations sur les modifications dont les règlements de l'époque leur paraîtraient susceptibles.

Il était impossible de prendre des bases plus étendues. Les réponses arrivèrent de tous côtés au ministère; elles furent transmises à une sous-commission dont Callon était le secrétaire. Nous avons sous les yeux le rapport qu'il a rédigé à cette occasion, et nous ne pouvons que regretter que ce travail soit à peu près inconnu. En voici quelques passages :

« Les formalités auxquelles est soumise actuellement « une demande en autorisation, mettent en jeu *sans utilité* « *réelle* un grand nombre de fonctionnaires; l'enquête *de* « *commodo et incommodo* n'amène dans la pratique que « des lenteurs sans résultat utile; les délais réglementaires « ne sont jamais ou presque jamais observés; en fait, les « appareils sont habituellement *établis et en activité* quand « intervient l'arrêté d'autorisation qui les concerne. Il ré- « sulte de cet état de choses, pour l'administration locale, « une situation également difficile et compromettante, soit « qu'elle veuille tenir la main à l'exécution rigoureuse de « toutes les prescriptions de l'arrêté d'autorisation, soit « qu'elle *en tolère l'inexécution* partielle. »

Signaler de tels faits, c'était condamner à jamais le régime de *l'autorisation préalable.*

Les prescriptions anciennes relatives aux épaisseurs des chaudières, aux détails de construction, à la surveillance, pouvaient-elles être maintenues? Callon va nous répondre :

« Depuis 1843, l'éducation du monde industriel, con- « structeurs et manufacturiers, a fait de grands progrès...

« Telle prescription, plus ou moins nécessaire alors, peut « aujourd'hui être adoucie, sinon même supprimée, sans « qu'il en résulte aucun inconvénient ; telle autre même « doit être supprimée parce qu'elle est contredite par « l'expérience et la pratique.

« En général, une réglementation excessive, et qui veut « trop prévoir, est exposée au double inconvénient ou de « prescrire des choses inutiles, ou d'entraver les essais, « les tentatives qui sont la condition essentielle du progrès « industriel.

« Le moment semble donc venu d'entrer dans une voie « nouvelle, de compter davantage sur les lumières et l'in- « telligence des industriels, sur le soin de leurs intérêts, « qui sont en définitive les premiers compromis en cas « d'accident, sur *leur initiative personnelle tempérée par « une responsabilité réelle et sérieuse* ; en un mot, de cesser « de tout vouloir prévenir de peur d'avoir éventuellement « quelque chose à réprimer. »

Callon ne blâme pas, du reste, les règles anciennement adoptées par l'administration, « non-seulement avec l'as- « sentiment, mais même jusqu'à un certain point sous la « pression de l'opinion publique, empressée au moindre « indice de danger ou d'incommodité de réclamer la tu- « telle du gouvernement, sauf à chacun à se plaindre des « règlements qui l'entravent personnellement en applau- « dissant à ceux qui le protégent ou sont censés le pro- « téger. »

Nous en avons assez dit pour que l'on comprenne avec quel sage esprit Callon et ses collègues abordent toutes les questions qui leur sont soumises ; les conclusions de la commission furent adoptées par l'administration supérieure et sanctionnées par le décret du 25 janvier 1865.

Le régime nouveau, contre lequel jusqu'à ce jour aucune réclamation ne s'est fait entendre, au moins par l'industrie, peut être résumé en peu de mots :

L'administration publique ne se désintéresse pas des machines à vapeur; elle est enseignée sur leur existence par une déclaration obligatoire.

Chaque constructeur peut donner à ses chaudières telle épaisseur qui lui convient; mais il faut et il suffit que ces chaudières résistent à des épreuves définies.

Enfin, les ingénieurs de l'État continuent à exercer une certaine surveillance, mais leurs attributions sont simplifiées. Ils n'ont plus à exercer une sorte de tutelle générale; ils veillent à l'exécution des dispositions réglementaires, au bon entretien des chaudières et des appareils de sûreté; mais ils laissent aux tribunaux ordinaires le soin d'apprécier les dommages qui peuvent résulter du voisinage d'une machine à vapeur.

Tel est le régime nouveau, et nous pensons qu'il a réalisé un progrès considérable. Les Anglais, qui ont débuté par la liberté absolue, en ont reconnu les inconvénients, et ils son arrivés à une réglementation semblable à la nôtre au fond, mais qui dans la forme en diffère essentiellement. Chez eux la surveillance est exercée, non par l'administration, mais par des agents nommés et entretenus par des associations privées. Callon serait allé volontiers jusque-là. Dans son *Cours sur les machines à vapeur*, il parle avec les plus grands éloges des résultats obtenus par l'association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Le contrôle exercé par l'association de Mulhouse s'étend « aujourd'hui « à près de 1.100 chaudières qui se trouvent surveillées « *d'une façon infiniment plus efficace* qu'elles ne peuvent « l'être par une administration publique. »

Nous partageons complètement les convictions de Callon sur ce point. Dans les rapports de l'État avec l'industrie, la solution la plus désirable c'est la liberté, mais la liberté accompagnée de sa sœur la responsabilité.

La machine à vapeur est un outil d'un usage universel. Sans aucun doute il est douloureux de voir un ouvrier se

blesser ou blesser ses camarades en se servant maladroitement d'un outil; mais personne ne songera à réglementer l'usage d'une hache ou d'un marteau. Cessons de demander à l'administration de tout prévoir, de tout prescrire; cessons d'écrire sur nos chemins de fer : Il est *interdit* de traverser la voie. Écrivons : Il est *dangereux*, et chacun saura ce qu'il peut faire et risquer.

Nous désirons que la machine à vapeur s'introduise partout, que dans le plus petit atelier elle libère l'homme et surtout la femme, qui douze heures par jour tournent une roue; nous y arriverons, et l'honneur de Callon sera d'avoir contribué dans une large part à la transformation du régime légal des appareils à vapeur.

IV. — Publications diverses faites par Callon.

Callon écrivait avec une très-grande facilité; mais ses moindres écrits révèlent toujours cette qualité maîtresse, l'ordre. Quand il avait à traiter un sujet, il semblait ne pas s'en occuper, il en parlait peu ou point; mais il faisait d'assez longues courses à pied, il écrivait de temps à autre quelques mots sur le premier morceau de papier venu, puis un matin il prenait la plume et écrivait sans arrêt, presque sans rature, des rapports ou des mémoires quelquefois fort longs, et dans lesquels l'exposition des faits, la discussion à des points de vue multiples et les conclusions s'enchaînent si naturellement que la lecture s'en poursuit sans aucun effort.

En lui accusant réception d'une lettre dans laquelle il avait exposé ses idées sur le mode d'exploitation d'une mine, le président du conseil d'administration de la société concessionnaire de cette mine ajoutait au bas de la lettre officielle de ce conseil ces mots : « Permettez-moi de vous

« remercier personnellement de votre lettre si instructive « à tous égards ; *c'est tout un mémoire concentré en quatre « pages ;* vous n'avez pas à redouter les contrefacteurs. »

Bien des lettres adressées à Callon sont conçues dans le même esprit ; on ne cesse de le remercier de son extrême clarté.

Callon lisait la plume à la main, il notait les passages qui le frappaient et souvent il se livrait pour son instruction à une discussion approfondie.

Cherchons à l'imiter en divisant en plusieurs groupes ses nombreux écrits.

Le premier groupe, et à coup sûr un des plus importants, comprendrait les travaux manuscrits, les rapports demandés par les ministres, par de grandes sociétés industrielles, par divers tribunaux, par des gouvernements étrangers. Dans la collection de ses rapports manuscrits à la commission centrale des machines à vapeur, on compte, nous l'avons dit, 428 pièces, et nous ne sommes pas certain d'avoir tout retrouvé.

En parlant de sa participation pendant plus d'un quart de siècle aux grandes affaires de mines de l'Europe, nous avons donné une idée des immenses travaux qu'il accomplissait ; chaque jour ses enfants découvrent dans ses papiers un document intéressant, souvent aussi l'indication que le résumé d'une affaire a été remis à telle ou telle personne.

Les travaux imprimés sont plus faciles à réunir ; nous pouvons citer, en suivant à peu près l'ordre des dates, les ouvrages ci-après :

1° Cours de mécanique autographié, pour les élèves de l'École des mineurs de Saint-Étienne ;

2° Éléments de mécanique à l'usage des candidats à l'École polytechnique ; Paris, 1851 ;

3° Mémoires insérés dans les *Annales des mines ;*

4° Rapports à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale ;

5° Rapports relatifs aux expositions universelles de Paris et de Londres;
6° Rapports à diverses sociétés industrielles, et notamment à la Société des mines de la Grand'-Combe;
7° Une brochure politique parue en juin 1871, sans nom d'auteur, et qui n'a été connue que d'un petit nombre d'amis de Callon;
8° Enfin, Cours professés à l'École des mines de Paris, machines et exploitation des mines. 4 volumes grand in-8°, avec 4 atlas; Paris, 1873-1875.

Nous ne parlerons pas des deux premiers ouvrages destinés uniquement aux élèves de Saint-Étienne et aux candidats à l'École polytechnique; mais nous entrerons dans quelques détails sur ceux qui suivent, et nous nous efforcerons de donner une idée complète des deux derniers. Cependant nous ajouterons que, dans les deux premiers cours, Callon ne perd pas un instant de vue ses élèves et ses lecteurs; il ne s'avance que pas à pas; pour ceux qui commencent, il cherche des démonstrations élémentaires, mais rigoureuses.

Mémoires insérés dans les Annales des mines. — Les mémoires insérés dans les *Annales des mines* de 1840 à 1871 sont au nombre de dix-neuf, non compris la Notice nécrologique sur Le Chatelier parue au Recueil de 1873.

Ces dix-neuf mémoires se divisent de la manière suivante:

Une notice sur la fabrication de la fonte et du fer dans le Hartz, et sur l'emploi de l'air chaud dans les hauts fourneaux et les feux d'affinage de ce pays;
Un mémoire sur l'exploitation de la calamine et la fabrication du zinc dans la haute Silésie;
Trois mémoires sur des questions générales relatives à l'exploitation des mines;
Un mémoire divisé en deux parties sur la géologie et l'exploitation des mines de la Grand'-Combe;
Deux travaux sur la statistique minérale de l'empire d'Autriche;

Deux rapports sur des appareils proposés par deux inventeurs, MM. Galibert et Palazot;

Enfin neuf rapports sur des accidents, sur le sauvetage d'ouvriers engloutis dans un éboulement, sur des explosions de machines à vapeur.

Tous les ingénieurs des mines ont lu ces travaux, que nous ne pourrions analyser qu'au risque de trop augmenter cette Notice.

Rapports à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. — Les rapports et communications de Callon à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale sont au nombre de vingt et un. Ils ont été insérés dans les Bulletins de 1847 à 1873; la Notice sur Le Chatelier a été insérée dans les Bulletins de 1874.

M. G. Maurice, ingénieur civil des mines, ancien élève de l'École des mineurs de Saint-Étienne, a bien voulu analyser ces travaux de Callon, son ancien professeur. Nous ne pouvons que renvoyer à cet excellent travail; nous dirons seulement la précision avec laquelle Callon abordait toutes les questions, aussi bien celles qui touchaient à l'art des mines que celles auxquelles il semblait devoir rester étranger. Il parlait des métiers à tisser, de la fabrication des voitures de luxe, etc., aussi bien, mieux peut-être, que n'auraient pu le faire des chefs de ces diverses industries.

Rapports relatifs aux expositions universelles. — Des événements aussi considérables dans l'histoire de l'industrie que les expositions universelles ne devaient pas laisser indifférent un esprit élevé et étendu comme celui de Callon; aussi prit-il une part chaque fois plus importante aux quatre expositions universelles qui se succédèrent à Londres et à Paris.

En 1851, le ministre lui donnait une mission spéciale « à l'effet d'étudier les produits réunis dans l'exposition

« universelle, en profitant de cette occasion pour visiter à « Londres, même en Belgique, dans le nord de la France « et dans les provinces Rhénanes, les principaux établis- « sements industriels qui pourraient lui offrir un intérêt « spécial à raison du double service dont il était chargé « comme professeur à l'École des mines et comme attaché « à la surveillance des machines à vapeur. »

Le rapport adressé au ministre par Callon est très-complet et très-intéressant.

Au point de vue de l'art des mines, il présente une statistique plus complète que toutes celles qui avaient paru jusqu'alors. Il décrit certains procédés, alors nouveaux, de l'extraction et de l'aérage des mines; il parle des mesures prises par le gouvernement anglais, à l'imitation de ce qui avait déjà lieu en France, pour l'établissement d'un service d'inspection dans l'intérêt de la sûreté des ouvriers et d'un enseignement spécial de l'art des mines.

Au point de vue de l'exposition elle-même, Callon signale les mesures libérales prises par la commission anglaise, la mise en marche d'une partie des machines exposées, les catalogues illustrés..... Tout cela va de soi aujourd'hui; mais, il y a vingt-cinq ans, ces innovations méritaient d'être appréciées. Une chose frappe surtout Callon : le gouvernement anglais est resté étranger à l'œuvre accomplie; elle est due entièrement à l'initiative individuelle, au concours libre et spontané d'un petit nombre de citoyens; puis la masse de la nation est fière de la *great exhibition* devenue une entreprise vraiment nationale.

Nous avons fait en France de véritables progrès à cet égard; chaque année des expositions importantes s'organisent presque sans l'intervention du gouvernement, et les souhaits que Callon formulait en 1851 commencent à s'accomplir.

A l'exposition de 1855 qui eut lieu à Paris, Callon fut nommé membre du jury de la première classe, — art des

mines et métallurgie. Ses collègues français étaient Élie de Beaumont, Dufrénoy, Le Play et Chancourtois; il fut nommé secrétaire et, à ce titre, chargé d'un travail considérable. La première classe était divisée en neuf sections; le rapport du jury fut présenté par M. Émile Rainbeaux, administrateur des mines du Grand-Hornu (Belgique).

L'exposition universelle de 1862, en Angleterre, nous montre Callon chargé du rapport sur les *machines à préparer et à filer les fibres textiles*, c'est-à-dire d'un travail bien éloigné de ses habitudes professionnelles.

Il n'était cependant pas absolument étranger à l'industrie textile qui avait longtemps occupé son aïeul et son père. Pendant les six années qu'il avait passées dans le département de la Loire, il avait étudié avec beaucoup de soin, et avec *l'ardeur tranquille* qu'il apportait à toutes choses, les brillantes industries de Lyon et de Saint-Étienne; il s'était imposé la tâche de voir et d'annotter, pour sa propre satisfaction, tout ce qui concernait l'industrie des matières textiles. Aussi, collègue de MM. Jean Dollfus et Villeminot-Huard, il se trouvait rapidement en parfaite communauté d'idées avec ces grands industriels, et il rédigeait avec le succès le plus marqué un rapport complet sur la préparation et la filature des fibres employées par l'industrie.

Nous ne suivrons pas Callon dans l'étude des machines à éplucher le coton et à teiller le chanvre, des chardonneuses, des cardeuses et des peigneuses, des machines à filer et à tisser; mais il y a dans son travail des passages qui ne sauraient être trop médités parce qu'ils sont toujours vrais. Il faut qu'à la supériorité du goût, que nul ne conteste à la France, celle-ci joigne l'égalité dans l'outillage. Ce sera un grand pas de fait, mais ce n'est pas le seul; il faut, d'une part, renoncer à réclamer en toutes choses l'intervention du gouvernement, et, d'autre part, obtenir chez nous la stabilité dans les professions.

« En dehors des questions de douane, dit Callon, le « rôle du gouvernement ne peut être que fort secondaire, « car l'industrie textile est une de celles qui par leur ca- « ractère progressif, leur variété, leur mobilité, échappent « le plus complétement au système de l'intervention ad- « ministrative, utile dans certains cas et dans une certaine « mesure, mais qui *sert aussi souvent de frein que d'ai- « guillon* et qui a toujours l'irréparable tort d'affaiblir « *l'énergie de l'initiative individuelle.* »

Servie par des ingénieurs qui écrivent les lignes que nous venons de copier et dont elle fait des professeurs, l'administration française est une administration libérale; ce qui n'est pas libéral, c'est le pays lui-même qui parle sans cesse de liberté, mais qui sans cesse aussi réclame la réglementation.

Sur cette question si grave de l'instabilité des professions, écoutons encore Callon :

« ..... En Angleterre, bien plus souvent qu'en France, « un établissement industriel reste dans la même famille « pendant plusieurs générations; le fils suit la carrière du « père; son éducation se termine plus vite; il est plus tôt « associé aux travaux de la maison; il fournit une car- « rière industrielle plus longue qu'en France; il y acquiert « une expérience et des traditions précieuses que nous ne « pouvons avoir au même degré. *La règle en Angleterre « c'est que le fils adopte la carrière de son père. On peut « dire que c'est chez nous l'exception.* Ce qui est la règle « chez nous, c'est de se retirer le plus vite possible dès « que l'on a atteint un chiffre de fortune en rapport avec ses « goûts; c'est surtout de donner à ses enfants une instruc- « tion littéraire très-complète, ou du moins très-longue à « acquérir, et surtout très-propre à les placer dans un « courant d'idées qui les éloigne de la profession pater- « nelle. »

En 1867, nous partageâmes avec Callon l'honneur d'être

appelé par M. Le Play parmi les ouvriers de la première heure. Une commission composée de MM. Combes, Flachat, Bourdon, Maniel, Le Chatelier, Callon, Mangon, Cheysson et moi, fut chargée de rechercher les moyens de donner la vie à la grande galerie des machines, c'est-à-dire de distribuer l'eau, le gaz et la force motrice à tous les exposants qui en feraient la demande. Il fallait avant tout conserver la forme elliptique du bâtiment et respecter scrupuleusement la division par nationalités, et, dans chaque nationalité, par industrie.

Nous eûmes de nombreuses réunions et deux partis se dessinèrent immédiatement : les uns, — et parmi eux Le Chatelier, — inclinaient à tenter une grande expérience et à demander soit à l'eau, soit à l'air comprimé, la force nécessaire ; les autres, — et dans leur nombre Callon, — soutenaient qu'il ne fallait rien donner à l'imprévu et que la vapeur seule permettait de répondre aux données fort complexes du problème. Cette dernière opinion prévalut. Dans ces discussions Le Chatelier et Callon apparurent avec leurs grandes qualités, mais en même temps avec les différences de ces qualités : Le Chatelier, plus audacieux, plus artiste, si le mot est permis en pareille matière ; Callon, plus calme et plus précis.

Collègue de Callon dans plusieurs autres réunions ou commissions, notamment dans celle qui fut chargée de suivre les travaux de ventilation exécutés par M. de Mondésir pour le palais du champ de Mars, nous avons constamment admiré la finesse de ses observations, la netteté de son jugement et la sûreté de ses conclusions.

Callon fut chargé du rapport du jury sur le matériel et les procédés des extractions des mines.

Rapports à diverses sociétés industrielles.— Les ingénieurs attachés aux grandes sociétés industrielles ont à remplir une tâche qui échappe généralement aux ingénieurs de

l'État, celle de présenter chaque année une situation financière et de montrer que les capitaux dont l'emploi leur a été confié ont obtenu ou obtiendront dans un court délai une rémunération convenable.

Certains grands travaux de l'État ne comportent pas ce mode d'appréciation, et l'on ne saurait évaluer en argent les bienfaits à attendre d'un phare construit sur les rochers de la mer de Bretagne; mais dans bien des cas, il ne serait pas inutile de rechercher si à la réalisation de tel ou tel projet correspond un résultat certain. Malheureusement le mode de comptabilité par exercice, la mobilité dans les fonctions s'opposent souvent à ce mode d'appréciation. Tant mieux si un ouvrage est utile, tant pis si aucun bateau ne passe dans une écluse récemment construite; les commissions parlementaires, la cour des comptes, vérifient, certifient la régularité des écritures, mais personne ne demande si l'argent a été utilement dépensé.

Il n'en est pas de même dans l'industrie: non-seulement il faut que le capital dépensé obtienne un intérêt rémunérateur, il faut encore qu'il s'amortisse. Chaque année les ingénieurs, directeurs, administrateurs délégués, conseils de ces grandes entreprises, quel que soit le nom qu'on leur donne, ont à présenter sous une forme claire et précise les résultats obtenus. Callon a eu maintes fois à faire des travaux de cette nature, et il s'en est toujours acquitté avec le plus grand ordre et la plus grande lucidité; il a tracé des cadres que ses successeurs n'auront qu'à remplir.

Brochure politique. — Nous étonnerons certainement beaucoup des amis de Callon en parlant de lui comme d'un écrivain politique, et comme d'un écrivain politique d'un rare talent. Comment un homme si calme, si mesuré, si maître de lui en tout temps et en toutes choses, a-t-il pu aborder un sujet aussi brûlant que celui de la politique? Il est facile de répondre : Callon aimait passionnément son

pays. Il serait allé, — il l'a écrit, — j'usqu'au chauvinisme. Lorsqu'il s'est vu enfermé à Paris pendant le premier siége, privé de ses relations habituelles (*), inquiet du sort de ses fils dont l'un faisait comme officier de mobiles la campagne de l'armée du Nord, tandis que le second, confié aux soins de Le Chatelier, suivait avec les fils de ce dernier les cours du lycée de Bordeaux, Callon a écrit au jour le jour un certain nombre de pages résumant ses impressions et qui, à l'origine, n'étaient déstinées qu'à ses enfants et à ses proches. Mais lorsqu'à la guerre étrangère succèdent la guerre civile et les horribles temps de la Commune de Paris, il ne peut retenir un véritable cri d'angoisse, et il considère comme un devoir pour tout citoyen d'écrire et de dire ce qui dans sa pensée pouvait assurer notre salut.

Sa brochure, publiée chez Dentu en juin 1871, porte ce titre : *Réflexions sur les événements des dix derniers mois par un Provincial habitant Paris;* elle a 63 pages grand in-8° et est datée : Bordeaux, 28 mai 1871. Cette date seule est une indication des pensées qu'inspirait une époque si néfaste.

Jugeant « inutile de faire connaître un nom qui n'avait

(*) Callon était rentré à Paris au moment de l'investissement de la ville par les armées allemandes, et il avait écrit au ministre des travaux publics pour se mettre à sa disposition, pour étudier ou contribuer, après étude, à réaliser pratiquement les applications mécaniques qui pourraient être proposées.

Les réserves de Callon se comprennent en présence des propositions étranges qui se formulaient chaque jour, et nous concevons qu'il hésitât à participer à la construction de la *forteresse-barricade, blindée, flexible et mobile*, dite Batignollaise, dont nous avons retrouvé le prospectus dans ses papiers.

Pendant le siége, il fit partie d'une commission chargée d'étudier les projets relatifs à l'approvisionnement de Paris par les voies navigables et autres; il s'occupa des ballons captifs, qui devaient permettre à des observateurs de reconnaître la position des travaux ennemis; le ravitaillement demeura une chimère, et après quelques essais les ballons captifs furent dégonflés.

en matière politique aucune notoriété, » Callon n'a pas cru devoir signer cette brochure; nous l'avons regretté, parce que son nom si connu aurait à coup sûr appelé l'attention sur un travail aussi vigoureusement écrit et aussi ferme dans les conclusions que nous allons faire connaître.

Nous avons éprouvé une extrême difficulté pour rendre compte de cette étude du *Provincial habitant Paris;* nous pensions qu'il suffirait de citer quelques lignes, au besoin quelques paragraphes; mais à chaque page nous nous disions : Voilà des passages qu'on ne saurait omettre, et nous aurions recopié la moitié du livre. Essayons d'en donner une faible idée.

Des événements aussi considérables que ceux qui se sont succédé pendant dix mois, de juillet 1870 à mai 1871, sont dus à des causes multiples; il faut donc chercher quelles étaient pour notre pays notre politique extérieure, notre situation intérieure et surtout notre situation morale.

Quelle était surtout notre situation intérieure (*) ?

« Dans les classes supérieures les besoins, ou ce que « l'on veut appeler les besoins dans un monde où il n'y a, « dit-on, de nécessaire que le superflu, avaient crû plus vite « encore que les fortunes particulières.

« ..... Les classes laborieuses suivaient d'un œil jaloux « le développement des habitudes de luxe et de jouissances « matérielles. Elles les imitaient dans la mesure de leurs « moyens.

« ..... Il fallait jouir, jouir à tout prix, et depuis le plus « haut fonctionnaire jusqu'au dernier manœuvre, chacun « avait tendance à trouver que son travail était excessif « et sa rémunération insuffisante, qu'il n'avait pas besoin « de se gêner, et que, quoi qu'il fît, il en donnait bien assez « pour son argent à l'administration ou au patron qui « l'employait.

(*) Pages 16, 17 et 18.

« En résumé, le sentiment du devoir partout affaibli, le « travail individuel réduit par des habitudes croissantes « de dissipation, les appétits matériels prodigieusement « développés, la gêne dans un grand nombre de familles « due en partie au renchérissement des choses et plus en- « core au changement dans le mode de vivre; comme con- « séquence de cette gêne le mécontentement presque par- « tout; enfin, l'éternelle jalousie du plus pauvre contre « le plus riche de jour en jour plus surexcitée : telle était « la véritable situation de cette société si brillante et en « apparence si heureuse et si prospère. »

C'est au milieu d'une société si malade que tombe à l'improviste le couronnement de l'édifice, la liberté à peu près illimitée de la presse et la réouverture des clubs coïncidant avec le développement de l'Internationale.

Nous ne saurions raconter les événements qui se précipitent, mais nous pouvons dire que jamais on n'en a mieux analysé le récit :

« M. de Bismarck, préparé de longue main, disant et « redisant à ses Allemands et à l'Europe, qui ont fait « semblant de le croire, qu'il ne faisait que se défendre « contre un adversaire par lequel il avait eu l'art de se « faire attaquer; »

Nos troupes expédiées sans ordre aux frontières, *entassées pour vivre et disséminées pour combattre;*

Puis l'ennemi surgissant de tous côtés à la fois, des surprises et toujours des surprises;

Enfin la catastrophe de Sedan.

Averti par tant de malheurs, le pays va-t-il se recueillir un instant et réunir tout ce qui lui reste de forces pour résister à l'étranger? Il n'en est pas question, et arrive la révolution du 4 septembre, que Callon n'hésite pas à qualifier d'*immense malheur public.*

D'une part, cette révolution mettait le pouvoir aux mains d'hommes qui pouvaient être animés des meilleures inten-

tions, qui pouvaient être des hommes de plume ou de parole habiles, mais qui avaient peu d'action sur tous sur ceux qui les avaient nommés, et qui dans tous leurs actes se préoccupaient plutôt « de donner des gages à la démocratie « que de la consistance aux troupes ».

D'une autre part, du jour où M. de Bismarck « n'a plus « eu devant lui que le gouvernement de la Défense nationale, il a dû être absolument rassuré sur toute éventualité d'une intervention tant soit peu sérieuse de la part « des puissances européennes. Il est douteux, en effet, que « la prétention de certains de nos républicains en France, « d'être les apôtres de la future République universelle, « soit du goût des autres peuples, ou du moins il n'y paraît guère ; en tout cas, il est très-certain qu'elle n'est « pas du goût de leurs gouvernements ».

Pouvons-nous espérer dans l'avenir une situation meilleure? pouvons-nous remonter le courant qui nous a entraînés si loin et si bas ? Oui, dit Callon, et nous le dirons avec lui, mais à une condition : Au lieu de songer à réformer le gouvernement, il faut que chaque citoyen se réforme lui-même ; il faut (*) « réveiller chez nous-mêmes, par un « effort sérieux et constant de notre volonté individuelle, « et chez les autres par l'influence de nos paroles, *et mieux* « *encore de notre exemple*, des sentiments qui depuis trop « longtemps sommeillent chez nous, et qui peuvent se résumer en un seul : le sentiment du devoir à accomplir sous « toutes ses formes, envers soi-même, envers sa famille, « envers la société. Le devoir ainsi compris comporte en « effet la renonciation à des habitudes de vie dissipée et « irrégulière, l'ordre, l'économie, la modération dans les « dépenses de la famille, l'assiduité et la conscience dans « le travail, la ferme volonté de faire respecter en toute « occasion le droit et la loi. »

(*) Page 59.

Réalisons cette grande réforme, et le reste nous sera donné par surcroît. Si nous obéissons tous à la loi, on n'osera plus dire que l'insurrection est le plus saint des devoirs; si nous reconnaissons tous que par le progrès pacifique et régulier de l'opinion publique, il n'est pas de réforme qui ne puisse s'accomplir, nous considérerons désormais comme des factieux les hommes qui, sous un titre quelconque, voudront s'emparer du pouvoir.

Reconnaissons avec Callon que, depuis soixante ans, chacune des révolutions que nous avons traversées n'a eu d'autre résultat que de produire un temps d'arrêt dans les progrès du pays, et que dès lors nous avons un bien grand intérêt à faire, comme on l'a dit, l'économie d'une ou de plusieurs révolutions nouvelles. Aucune ne donnerait la solution de la question sociale, et d'ailleurs y a-t-il une *question sociale* dans le sens qu'on donne habituellement à ce mot? Callon se prononce hardiment pour la négative.

« Il y a, dit-il (*), une société qui est en progrès con-« stant, manifeste, au point de vue matériel; cette société « est en possession des principes de liberté, d'égalité, de « justice, qui semblent les plus propres à assurer la con-« tinuation de ce progrès, et qui sont d'accord avec le sens « intime et la conscience humaine. Il n'y a plus à deman-« der que des améliorations de détail auxquelles personne « ne se refuse, et qui viendront successivement à mesure « que l'opinion publique, éclairée par une discussion pa-« cifique, en reconnaîtra l'opportunité. »

Nous nous trompons peut-être, mais il nous semble que la connaissance de cette partie des travaux de Callon augmentera encore, s'il est possible, l'estime qu'inspiraient son talent et son caractère. Sans aucun doute, les ***Réflexions d'un Provincial*** ne révèlent aucun fait nouveau, elles n'en ont pas la prétention; sans doute encore ce qu'il dit bien

(*) Pages 56 et 57.

des gens l'avaient pensé; mais peu auraient su l'écrire, et cette communauté de sentiments qui s'éveille à chaque page entre le lecteur et l'écrivain est la meilleure des récompenses que celui-ci puisse ambitionner.

Cours professés à l'École des mines de Paris. — Nous arrivons à l'œuvre magistrale de Callon, à la publication de ses cours à l'École des mines de Paris, publication malheureusement inachevée, mais qui rend déjà les plus grands services.

Callon, nous l'avons dit, a professé pendant vingt-quatre ans. Dans ce long intervalle de temps, il a perfectionné sans cesse l'ordre de ses leçons et le détail de son enseignement. Mêlé de la façon la plus active à presque toutes les entreprises minières de la France et à celles d'une grande partie du continent, initié par sa connaissance des langues anglaise, allemande et espagnole à tout ce qui se publiait sur l'art des mines, il rapportait tout à ses cours, et il a élevé un véritable monument.

Ces cours sont au nombre de deux :

Cours de machines;

Cours d'exploitation des mines.

Chacun d'eux devait avoir trois volumes avec un atlas par volume ; deux volumes et deux atlas seulement ont été publiés pour chacun des deux cours. Une traduction anglaise de ce grand ouvrage est, en ce moment même, en cours de préparation.

Cours de machines. — Avant de présenter d'une manière sommaire les divisions principales du cours, divisions dans lesquelles on retrouve une pensée et un ordre philosophiques, il convient d'insister sur une considération placée par Callon en tête de son ouvrage, et qui a une grande importance. Le cours s'adresse à des jeunes gens déjà instruits, qui seront ou ingénieurs de l'État, ou directeurs

d'établissements industriels divers. En ce qui concerne les machines, ces jeunes gens ne seront donc pas des spécialistes; ils auront à se servir de machines et non pas à en construire. Il faut dès lors, et cela suffit, qu'ils soient en état de discuter les *conditions générales de l'établissement d'une machine dans un cas donné*, ou *le mérite d'une modification qui pourrait leur être proposée.*

On ne saurait songer à donner à personne une instruction universelle; il faut donc admettre le grand principe de la division du travail. Un directeur de mines, s'il a besoin d'une machine d'épuisement, risquerait fort en la construisant lui-même de ne produire qu'un instrument médiocre, tandis qu'il en obtiendra un excellent en s'adressant à un constructeur de ces sortes d'appareils, et de même dans toutes les autres industries.

Le livre de Callon contient donc pour chaque groupe de questions traitées :

a) Les principes généraux et les idées qui s'y rattachent;
b) Les applications connues de ces principes;
c) Le choix à faire de ces applications dans les circonstances principales qui se produisent dans l'industrie.

Placé en face d'une question nouvelle, l'élève de Callon, — et chaque lecteur devient son élève, — aura donc d'abord une méthode d'étude générale, puis les solutions proposées dans des circonstances qui auront toujours de l'analogie avec celles qui se présenteront.

Ces principes posés, nous pouvons aborder la nomenclature toujours si sèche d'un cours de mécanique.

Définitions et notions préliminaires, moteur en général et moteurs animés.

Hydraulique. — L'écoulement de l'eau est étudié successivement :

a) Par des orifices en mince paroi;
b) Dans des tuyaux;
c) Dans des canaux.

Les principes posés, comment utiliser la chute de l'eau? Dans des roues à axe horizontal, dans des roues à axe vertical?

Tous les récepteurs hydrauliques connus, quels sont ceux dont l'ingénieur doit faire choix pour répondre le mieux possible aux conditions dans lesquelles il se trouve placé?

Dans cette première partie de son cours, Callon attachait avec raison une grande importance à l'étude comparative complète qu'il présentait entre les divers appareils récepteurs connus, tant au point de vue de la chute disponible qu'au point de vue de l'emploi à faire de la force utilisée (lettre à M. Daubrée, 29 avril 1875).

Pneumatique. — Écoulement des gaz à température constante, à chaleur constante, des gaz chauffés artificiellement. Emploi de l'air comme moteur.

Les applications se présentent en foule dans l'art des mines et du métallurgiste. Ventiler une mine, enlever l'air corrompu et amener de l'air pur aux ouvriers est un problème d'écoulement des gaz; pour faire fondre les minerais, il faut que les machines soufflantes lancent des torrents d'air dans le haut fourneau; si cet air est chauffé, les formules ne sont plus les mêmes, etc.

La compression de l'air permet des solutions absolument nouvelles dans le problème de la transmission des forces. Ces questions, étudiées hier dans le percement du mont Cenis, aujourd'hui dans celui du Saint-Gothard, amèneront peut-être demain une révolution dans l'extraction des roches à des profondeurs telles qu'il est impossible d'y faire vivre de nombreux ouvriers.

Emploi de la chaleur comme force motrice, théorie mécanique de la chaleur et propriétés mécaniques des vapeurs.

Nous ne pouvons songer à rappeler les découvertes plus philosophiques que matérielles qui ont conduit à la théorie mécanique de la chaleur, théorie qui forme aujourd'hui

une des bases les plus importantes de la physique et de la chimie. Callon montre quelles conséquences il convient de tirer des lois nouvelles, combien il importe de chercher à élever la température des corps que l'on emploie pour augmenter l'écart entre le calorifère et le réfrigérant; mais il montre en même temps combien les propriétés des corps employés jouent un rôle favorable ou défavorable dans l'élévation de la température.

Étude des appareils récepteurs propres à utiliser la force motrice de la vapeur d'eau. Organes des machines à vapeur. Classification des appareils. Choix d'une machine à vapeur destinée à un usage industriel déterminé.

Le lecture de ce dernier chapitre rendra aux ingénieurs et aux industriels les plus grands services. A chaque instant il faut acheter une machine, mais quelle machine? Faut-il prendre une machine à marche lente ou à marche rapide? Faut-il un moteur unique ou faut-il diviser ses moyens d'action? Sur chacune de ces questions, Callon donne un avis, et un avis motivé; tous y trouveront une réponse aux questions qui les préoccupent.

Production de la vapeur. Du choix d'un générateur destiné à un usage industriel déterminé. Alimentation, explosions des chaudières.

Nous arrivons à un chapitre, le XXIVe, qui est pour nous un chef-d'œuvre de bon sens; il n'y a pas de problème plus douloureux à étudier que celui des explosions. Callon, après avoir étudié les circonstances dans lesquelles se sont produites presque toutes les explosions connues en France, arrive à cette conclusion qu'une surveillance intelligente et continue suffit toujours à prévenir ces redoutables accidents:

« Une chaudière qui reste longtemps en service, sans « être visitée et sans recevoir les réparations que peuvent « indiquer ces visites, est *une chaudière qui finira nécessairement par éclater.*

« Une chaudière bien conduite, dont l'état d'entretien

« est contrôlé par des visites et des épreuves suffisamment « fréquentes, est *une chaudière qui n'éclate pas.* »

Les chemins de fer français occupent aujourd'hui près de cinq mille locomotives : la vapeur y est poussée à de très-hautes pressions ; le fait de la translation incessante est une cause de destruction inconnue dans les machines fixes ; cependant rien de plus rare que les explosions d'une locomotive. Mais aussi de quels soins, de quelle surveillance ces machines ne sont-elles pas l'objet ! En marche, deux hommes intelligents ne la quittent pas des yeux ; chaque jour au dépôt, et plusieurs fois dans le même jour, la machine est examinée ; des nettoyages incessants assurent la propreté de ses organes de vaporisation. Que l'on donne aux machines fixes le dixième des soins que l'on donne aux locomotives, on aura ce que nous promet Callon, *des chaudières qui n'éclatent pas.*

Cours d'exploitation des mines. — En France, l'art des mines a heureusement subi depuis quarante ans des transformations profondes, et les ouvrages les mieux faits sont rapidement en retard.

Callon, dans les deux premiers volumes de son *Cours d'exploitation des mines*, s'efforcera, dit-il, de décrire :

a) Les engins d'épuisement et d'extraction ;
b) Les moyens mécaniques créés pour la ventilation ;
c) Les méthodes d'exploitation pour les gîtes puissants ;
d) Les préparations mécaniques des minerais ;
e) Les procédés pour faciliter l'entrée et la sortie des ouvriers ;
f) Les modes de transport à l'intérieur des mines.

Sans doute le dernier mot n'a pas été dit pour chacune des questions qui précèdent, et le livre de Callon vieillira à son tour ; mais ce qui ne vieillira pas, c'est son mode d'exposition des faits, son appréciation des méthodes suivies. On pourra faire un livre qui continuera le sien, mais qui ne le remplacera pas.

Comme pour les machines à vapeur, nous donnerons la nomenclature des matières exposées; mais nous n'avons pas à faire des réserves semblables à celles que nous avons faites en parlant machines et mécanique. Ici l'ingénieur et le directeur des mines doivent, dans la division du travail, être des hommes techniques, et approfondir tous les détails :

a) Définitions. Notions préliminaires. Gisements.
b) Travaux d'exploration et de recherche. Sondages.
c) Travaux d'abatage.
d) Application des moyens mécaniques à l'abatage.

La substitution du travail mécanique au travail à la main est un des problèmes qui s'imposent avec le plus de force dans l'industrie des mines. D'une part, la demande dépasse presque toujours l'offre; d'autre part, le travail dans la mine n'est pas très-attrayant par lui-même, et l'on conçoit facilement que l'ouvrier préfère une autre occupation. Enfin les puits descendent de plus en plus bas, les galeries se prolongent, la température s'élève et l'air se renouvelle plus difficilement. Pour tous ces motifs, la main-d'œuvre fait défaut et il faut la remplacer par le travail mécanique; jamais, du reste, l'émancipation du travailleur par l'emploi de moteurs inconscients n'aura été plus méritée, car il y a peu de métiers aussi pénibles que celui du mineur.

e) Boisage et muraillement. Cuvelage. Travaux dans les terrains aquifères.
f) Aménagements. Travaux préparatoires.

Callon insiste avec énergie sur la question de l'aménagement; il faut savoir à l'avance ce que l'on veut faire, préparer l'avenir, mais surtout ne jamais le compromettre.

g) Principales méthodes d'exploitation. Roches d'origine filonienne ou d'origine sédimentaire.
h) Exploitations souterraines et à ciel ouvert.
i) Transport dans l'intérieur des mines. Emploi de moyens mécaniques. Extraction.

L'emploi des moyens mécaniques pour le transport s'impose au même degré que pour l'abatage; ces hommes noirs qui poussent des wagonnets dans des galeries où il faut marcher plié en deux rappellent trop les hommes noirs que La Bruyère voyait courbés vers la terre. Un bon câble, actionné par une machine, les remplacera à l'avantage de tous.

j) **Asséchement des mines par les cuvelages étanches, par les galeries d'écoulement, par l'épuisement à l'aide de moyens mécaniques.**

k) **Ventilation et éclairage des mines. Ventilation naturelle et artificielle.**

Dans les deux cours que nous venons d'analyser, les planches ont une importance considérable; dans le cours d'exploitation surtout, elles saisissent la vue, et l'homme le plus étranger à l'art des mines en conçoit rapidement le but et les moyens.

Il reste, ainsi que nous l'avons dit, deux volumes à publier : le premier, — pour les machines, — devant comprendre la résistance des matériaux et la construction des machines ; le second, la préparation mécanique des minerais, ainsi que des généralités sur l'organisation et la direction des sociétés d'exploitation. Nous espérons que les papiers laissés par Callon permettront à ses fils de publier la presque totalité du complément du travail de leur père. Ils auront sous les yeux non-seulement les notes relatives aux cours proprement dits, mais encore toute sa correspondance, dans laquelle on trouve à chaque instant des considérations fines, des aperçus ingénieux, qui, parfaitement applicables à l'affaire au sujet de laquelle ils sont formulés, peuvent être facilement élevés à l'état de principes et de règles générales.

A cet égard, — et nous insisterons sur ce mérite particulier du grand ouvrage de Callon, — on trouve unie à une parfaite connaissance des questions techniques une science économique profonde. Pour lui, une mine est bien un chan-

tier dans lequel on extrait de la houille ou du minerai; mais c'est en même temps « un des spécimens les plus « remarquables de l'activité humaine et de son triomphe « sur la matière. »

Dans presque tous les chapitres se trouvent des considérations économiques qui jettent une vive lumière sur beaucoup de questions controversées, telles que l'avenir des mines de houille, le rapport entre l'élévation du prix de la main-d'œuvre et celle du prix des choses que le prix de la main-d'œuvre doit permettre d'acquérir, la lutte entre les mines de l'Ancien et du Nouveau Monde pour les métaux précieux, la substitution du travail mécanique au travail manuel, etc., etc.

La science sociale, que Callon étudiait dans les livres à Saint-Étienne, et qu'il n'avait cessé d'observer dans les faits pendant trente-cinq ans, avait toujours eu un vif attrait pour lui. « J'aurais aimé à faire un cours d'économie politique, disait-il quelques heures avant sa mort, « je me sentais préparé. » Heureusement, par sa vie tout entière il était préparé aussi à paraître devant Dieu.

Maintenant est-il possible de résumer en quelques lignes une vie aussi remplie que celle que nous avons essayé de raconter? Nous ne l'espérons pas.

Comme ingénieur et professeur, Callon a dû à un mérite reconnu de tous ce rare bonheur d'enseigner, — et avec un égal succès, — l'art des mines :

Aux ouvriers, à Alais ;

Aux ingénieurs et directeurs, à Saint-Étienne et à Paris ;

Aux concessionnaires et administrateurs, par ses conseils, ses notes, ses rapports, sa correspondance immense.

Rien de tout ce qui touche à l'art des mines par un côté quelconque ne lui a été étranger. Proclamons-le donc un *maître en l'art des mines*, et un maître dont le souvenir et les leçons vivront longtemps.

Comme ingénieur et économiste, Callon a étudié toute sa vie le grand instrument de la transformation du travail dans les temps modernes, — la machine à vapeur. Il partage avec Combes l'honneur d'avoir fait substituer à l'ancien régime légal de la réglementation le régime de la liberté et de la responsabilité.

Comme écrivain, Callon laisse un ouvrage considérable, résumant l'expérience acquise pendant quarante années de travaux, et que de nombreuses générations d'ingénieurs ne cesseront d'étudier.

Comme citoyen, il a donné à tous l'exemple d'une vie entière consacrée au travail et au devoir, et il a su formuler en termes virils des conseils qui, s'ils sont suivis, assureront la régénération de notre cher pays.

Comme homme enfin, que pouvons-nous ajouter à ce que nous avons dit de sa vive intelligence, de son amour du travail, de la bonté de son cœur? Jamais *volontairement* il n'a causé de mal à personne, et autour de lui il n'a fait que des heureux.

En rentrant auprès des siens au retour d'un long voyage, ou le soir de chaque journée si régulièrement, si complétement consacrée au travail, Callon avait cette égalité de caractère, cette gaieté douce et aimable que Dieu donne comme la première récompense du devoir accompli.

Pouvons-nous parler de la douleur de sa famille, du vide affreux qu'une mort si rapide et si imprévue laisse dans une maison qui n'avait jusqu'ici connu que le bonheur? De telles douleurs ne se décrivent point, et la religion seule en adoucit l'amertume; seule elle donne la certitude de la réunion dans le sein de Dieu; seule elle permet à la noble veuve de Callon de tirer de l'excès même de sa douleur une consolation, celle de pouvoir dire à ses fils : Soyez ce qu'était votre père.

Paris, le 18 juillet 1875.

INSTRUCTION

POUR

LA PRATIQUE DU DESSIN GÉOMÉTRIQUE SUR LA SPHÈRE

ET POUR

SON APPLICATION EN GÉOGRAPHIE ET EN GÉOLOGIE.

(Principes et usage des instruments de Sphérodésie graphique [*]).

Par M. B. DE CHANCOURTOIS,
Ingénieur en chef et professeur de Géologie à l'École des Mines.

La prise en considération des faits d'alignement sur le globe terrestre donne lieu d'étudier les figures sphériques. Cette étude peut être appelée SPHÉRODÉSIE, puisqu'elle a implicitement pour objet la division de la sphère et, par suite, on peut dénommer SPHÉRODÉSIE GRAPHIQUE l'art de faire les dessins géométriques sur la sphère. On peut dire encore plus simplement SPHÉROGRAPHIE.

Les instruments de sphérodésie graphique sont, comme les instruments destinés au travail graphique sur le plan : une RÈGLE, une ÉQUERRE et un COMPAS.

La manière de s'en servir est aussi facile à inventer que leur construction même; mais le moindre achoppement pouvant discréditer une pratique nouvelle, et la vulgarisation de celle-ci paraissant opportune, il vaut mieux, dans

(*) Les instruments de Sphérodésie graphique ont été construits pour l'École des mines par M. Froment et par son successeur, M. Dumoulin (rue Notre-Dame-des-Champs, 85), pour les sphères établies par M. Grosselin et par son successeur, M. Bertaux (rue Serpente, n° 25).

la présente instruction, pécher par excès que par défaut d'explication. On entrera donc, sur les deux points, dans des détails très-circonstanciés.

Le COMPAS, qui suffirait à lui seul en principe, n'est qu'un compas à verge modifié.

La verge en bois est naturellement circulaire, et son rayon intérieur est égal à celui de la sphère augmenté de la hauteur des poupées. Mais il est à noter qu'une même verge peut servir pour des sphères un peu plus petites ou même un peu plus grandes.

Quant aux poupées, la modification quoique très-peu apparente, est tout aussi indispensable. Les mamelons dans lesquels sont fichées les aiguilles qui forment les pointes sèches, sont des ellipsoïdes de révolution dont la surface auprès de l'œil est exactement normale à l'axe. Le mamelon constitue ainsi un épaulement qui, lorsque l'aiguille sert de pivot, peut être maintenu appuyé sur la sphère sans l'endommager par son frottement, de manière que la pointe courante conserve sa distance polaire déterminée par le plan de contact; autrement cette distance varierait avec l'enfoncement progressif de la pointe pivotante, et la ligne décrite, qui différerait plus ou moins d'un cercle, ne se refermerait même pas. L'aiguille doit pouvoir rentrer complétement dans le mamelon, afin que l'on puisse rendre sa saillie aussi faible que l'on veut. La saillie est réglée de $0^m,0002$ à $0^m,0005$, suivant qu'il y a lieu de ménager plus ou moins la surface de la sphère où elle doit toujours être enfoncée à refus dès l'abord.

La pointe sèche de la poupée courante peut être remplacée par un crayon ou un tire-ligne, ou être transformée en burin.

En général, pour toute opération graphique sur la sphère, on doit commencer par tracer un grand cercle et déterminer pour cela l'ouverture de compas, d'un quadrant, avec laquelle on le décrit. Cette détermination se

fait de la manière suivante au moyen du compas seul.

Avec une ouverture d'un quadrant environ, prise à vue, on trace, d'un point choisi comme pôle, un cercle sur lequel, avec la même ouverture, on marque les points distants d'environ un quart de circonférence et, des quatre points, on décrit, toujours avec la même ouverture, quatre arcs qui forment un petit quadrilatère à l'antipode du pôle initial. Du centre de ce quadrilatère, donné approximativement par le croisement des diagonales, on décrit un cercle qui se trouve à peu près équidistant du premier. Avec la vis de rappel qui modifie l'ouverture du compas on amène le crayon à la moitié de la distance des deux cercles et l'on recommence l'opération avec cette nouvelle ouverture dont la correction donne alors le quadrant exact. Une troisième opération peut être nécessaire pour une personne inexpérimentée, mais, par contre, avec un peu d'habileté, on obtient le quadrant exact par le premier tâtonnement. Dans tous les cas, la valeur du quadrant est rigoureusement obtenue lorsque le quadrilatère est réduit à une croix et que le trait du second cercle décrit du point de croisement recouvre celui du premier; la circonférence exactement recouverte est celle d'un grand cercle.

Chaque fois que, dans l'usage du compas, on applique la pointe pivotante sur un nouveau pôle, comme cette pointe est masquée par le mamelon de la poupée, il faut préparer la place où elle doit pénétrer avec une pointe d'aiguille fine piquée bien normalement.

On peut conserver béants dans les sphères les trous des tourillons sur lesquels elles ont été tournées. Le mamelon de la poupée a un profil tel qu'il s'engage dans le trou sans se coincer et qu'on peut se servir du compas ainsi appliqué, la pointe pivotante restant assez exactement dans l'axe de la sphère; mais naturellement l'écartement des poupées doit être diminué pour que la pointe courante décrive le grand cercle. Ce mode de pivotage est même

préférable quand on veut tracer une nombreuse série de petits cercles parallèles, des parallèles géographiques, par exemple. On choisit, dans ce cas, l'axe des tourillons comme axe des pôles; on peut aussi profiter des trous des tourillons pour y installer des centres de pivotage en buis ou en laiton. Pour les tracés des figures où il n'y a pas d'axe dominant, on préférera des globes où les trous des tourillons sont bouchés.

La RÈGLE est une ceinture métallique dont un des bords, biseauté, correspond au grand cercle. Elle est formée de deux hémicycles assemblés bout à bout par deux paires d'oreilles traversées chacune d'une vis-écrou que l'on desserre pour faire glisser la ceinture sur la sphère. On conçoit que la simple application de la ceinture, si bien ajustée qu'elle soit par le constructeur, ne suffit pas pour déterminer rigoureusement le tracé d'un plan diamétral et que le bord de la règle est seulement destiné à être mis en coïncidence avec un grand cercle tracé au compas ou jalonné par des points.

L'ÉQUERRE est un triangle sphérique métallique birectangle à bord biseauté. Si l'on fait glisser la base sur la règle, fixée comme il vient d'être dit, le sommet doit rester en coïncidence avec le pôle du grand cercle.

La ceinture-règle est munie de valets élastiques qui, lorsqu'ils sont dressés transversalement, embrassent la sphère de manière à l'empêcher de s'échapper, mais sont seulement destinés à prévenir cet accident et ne peuvent maintenir la coïncidence précise, qui doit toujours être fixée à la main, comme pour la règle sur le plan.

Lorsqu'on n'a pas besoin du cercle entier, on sépare les deux moitiés de la ceinture en dévissant les écrous, et chacune sert de règle mobile. L'une d'elles offre, à l'opposé du bord biseauté, un arc de grand cercle à tranche carrée pour les opérations de tracé qui pourraient fatiguer les biseaux.

Quand on doit tracer à la règle un arc de grand cercle entre deux points éloignés, il ne faut pas manquer de faire d'abord au crayon, en appliquant successivement l'instrument dans les deux sens opposés, deux traits qui ne peuvent coïncider, parce que le crayon, courant à une certaine distance du plan du grand cercle donné par le bord même de la règle, ne trace nécessairement que deux petits cercles comprenant entre eux une sorte de fuseau. Le tracé exact du grand cercle entre les deux points s'obtient ensuite par le jeu du tire-ligne ou du burin qui permet de suivre l'axe du trait fusiforme résultant de la combinaison des deux lignes d'emprunt.

Une moitié de la règle est divisée en 180 degrés, l'autre moitié en 200 grades. De même, l'un des quadrants de l'équerre est divisé en 90 degrés, l'autre en 100 grades. Le petit côté de l'équerre est de 36 degrés ou 40 grades, soit un dixième de la circonférence.

Le report sur la sphère des arcs mesurés par ces graduations se fait avec une pointe fine de crayon ou mieux d'aiguille, tenue bien normalement. C'est une opération délicate, qui exige toujours beaucoup de soin et ne doit d'ailleurs se pratiquer que pour des fractions de quadrant. Le report du quadrant entier de la règle ou de l'équerre peut servir à abréger l'opération décrite ci-dessus, par laquelle on détermine le quadrant sur la sphère; mais il ne saurait dispenser de cette opération fondamentale dont le résultat fournit au contraire un moyen de repérage indispensable pour les mesurages et les reports d'arcs.

On sait que le *Réseau pentagonal* résume sur la sphère les propriétés des cinq solides réguliers. Il est donc important de pouvoir en tracer facilement l'épure, en dehors même de toute question d'application à la Géologie et au simple point de vue géométrique. A cet effet, on a marqué par des traits rouges sur l'un des bords de l'équerre les arcs qui donnent les rayons polaires des petits cercles sur

lesquels se trouvent les points *H*, *I*, *D*, *r*, *a*, *b* du réseau dont un point *D* coïncide avec le sommet de l'équerre. Les valeurs de ces arcs ou de leurs compléments sont de plus inscrites en regard.

Les sphères auxquelles sont appropriées les instruments sont construites en carton enduit d'une sorte de stuc. Elles sont calibrées sur deux tourillons qui pénètrent dans une fusée ou dans des moyeux de bois fixés à l'intérieur du cartonnage. Il peut se produire, par la dessiccation, une petite dépression annulaire autour de chaque pôle marqué par les trous de ces tourillons. On reconnaît de suite cette irrégularité, comme tout méplat accidentel, par le dédoublement local des deux tracés d'un grand cercle décrits de pôles opposés pris à environ un quadrant de la région suspectée. Malgré ce léger défaut, dont on corrige au besoin les effets par le moindre artifice, les globes en carton stuqué sont très-satisfaisants, et il est douteux que l'on obtienne mieux pour usage courant.

L'enduit a une consistance et un grain tels que les traits de crayon s'y marquent avec la plus grande facilité et peuvent cependant s'effacer à la gomme élastique. De plus, un coup d'éponge rend la surface tout à fait nette sans que ce nettoyage, même répété, altère sensiblement la sphéricité. On peut se servir sans inconvénient d'une éponge assez imbibée, à la condition d'essuyer immédiatement la surface lavée avec une autre éponge fine presque sèche ou un linge moelleux.

On peut faire directement sur l'enduit les tracés définitifs au tire-ligne, mais la meilleure manière de fixer une épure est de la graver avec un burin conique que l'on tronque très-légèrement en le passant obliquement sur la pierre, de manière à lui donner un mordant ovale. La pointe sèche de la poupée courante du compas peut aussi être disposée de la même manière en burin pour graver les petits cercles et même les grands cercles, qu'il est cepen-

dant préférable de graver avec le burin dirigé par la règle, car, même en tenant la verge du compas près de la poupée traçante, on l'empêche difficilement de vibrer. On nettoie ensuite la surface à l'éponge et l'on repasse enfin dans les sillons au tire-ligne avec des couleurs gommées.

Le seul défaut de l'enduit stuqué est de recevoir difficilement les teintes plates.

D'après ce qui a été dit sur la préférence à donner suivant les cas aux globes conservant ou non les trous des tourillons, on voit qu'il convient de se munir de globes dans les deux conditions. Au surplus, lorsque les trous sont bouchés, leur place reste toujours assez accusée par la nuance de l'enduit pour qu'il soit facile de les rétablir.

Les globes doivent être conservés sur des sébiles de bois cylindriques qui sont aussi commodes pour les tenir calés pendant que l'on dessine.

On a établi spécialement pour la pratique de la Sphérodésie graphique une sphère qui représente le globe terrestre réduit au 100 000 000e, dont le rayon est par conséquent de $0^m,0637$, la circonférence de $0^m,4$, et sur laquelle la longueur du grade est de $0^m,001$. Une première série d'instruments a été construite pour cette sphère.

Une seconde série d'instruments a été construite pour la sphère qui représente le globe terrestre réduit au 50 000 000e, dont le rayon est par conséquent de $0^m,1274$, la circonférence de $0^m,8$, et sur laquelle la longueur du grade est de $0^m,002$. Mais il s'agissait là d'une sphère géographique, c'est-à-dire recouverte de fuseaux de papier sur lesquels la configuration géographique est imprimée. La règle et l'équerre jouent donc un peu sur le globe *nu* que peut fournir le fabricant, puisque ce globe a été établi avec l'épaisseur du papier en moins sur le rayon. Toutefois, à la condition de baser leur emploi sur des constructions principales faites au compas, on obtient sur l'enduit des épures bien réussies.

Une troisième série a été construite pour la sphère qui représente le globe terrestre réduit au 40 000 000e, dont le rayon est par conséquent de $0^{m},1592$, la circonférence de 1 mètre, et sur laquelle la longueur du grade est de $0^{m},0025$. Elle est destinée à poursuivre les études sphérodésiques en Géologie sur un globe dont le dessin géographique est tout à fait supérieur (*).

A l'égard de ces dernières études, il importe de faire remarquer qu'on ne saurait se contenter des globes géographiques de fabrication courante, et qu'il ne suffit pas de se procurer ces globes non vernis. L'application du dessin géographique de la planche gravée doit être régularisée autant que possible. A cet effet, il faut d'abord tracer sur la sphère stuquée, avec les instruments sphérodésiques, le canevas des méridiens et des parallèles auxquels doivent se superposer les méridiens et les parallèles figurés dans le dessin. Il faut ensuite, après avoir découpé dans la planche avec le plus grand soin les rondelles polaires et les fuseaux, fractionner chacun de ceux-ci en trois tronçons suivant deux parallèles. Enfin, en collant successivement chaque compartiment, rondelle ou quadrilatère, il faut avoir soin, non-seulement de l'encadrer rigoureusement dans les lignes du canevas tracé qui correspondent à son contour, mais de déterminer, par le jeu du papier mouillé, la superposition exacte des autres lignes géodésiques qui le traversent. Par ce moyen, les points géographiques prennent leur place en longitude et en latitude, avec l'approximation que comporte l'échelle du dessin, pour toutes les parties du globe.

(*) Ce globe, dessiné par M. Picard, est édité par M. Andriveau-Goujon, rue du Bac, n° 21.

SUR LES PRINCIPES
DE
LA THÉORIE MATHÉMATIQUE DE L'ÉLASTICITÉ.

Par M. H. PESLIN, ingénieur des mines.

Les quatre premières leçons de l'ouvrage de Lamé sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides, sont consacrées à la détermination de la valeur de la force élastique dans le cas le plus général et à la simplification de son expression pour les milieux d'élasticité constante.

L'exposition de Lamé entraîne des calculs assez longs, et il nous a paru qu'il y aurait intérêt à les simplifier; c'est ce que nous allons essayer de faire en partant de l'étude géométrique de la déformation que peut subir l'élément de volume d'un milieu élastique.

L'exposition donnée antérieurement à cette théorie par Navier, Poisson et Cauchy est beaucoup plus directe que celle de Lamé; mais elle suppose que l'action de deux molécules voisines peut être représentée par une force unique, fonction de la distance, dont la direction est celle de la ligne qui joint les centres des molécules. Les phénomènes de la cristallisation, ainsi que Lamé l'a fait remarquer, paraissent contraires à cette hypothèse; car ils montrent que l'action moléculaire varie non-seulement avec la distance, mais avec l'orientation des axes de la molécule. Ils semblent même prouver que l'action de deux molécules ne peut être réduite à une force unique et qu'elle comprend un couple qui, dans la cristallisation, oriente l'axe de chaque nouvelle molécule venant s'ajouter au cristal. Rien n'autorisant à supposer que cette action élé-

mentaire change de nature quand on passe du cristal au solide amorphe, il nous paraît nécessaire de conserver au problème toute la généralité que lui a donnée Lamé.

Les deux seules hypothèses que nous admettrons seront les suivantes : 1° Nous n'étudions le problème de l'élasticité que dans les limites, variables suivant les divers milieux, où les forces élastiques peuvent être supposées proportionnelles à l'amplitude des déformations. 2° Nous supposons que les déplacements éprouvés par les diverses molécules du milieu élastique peuvent être représentés par des fonctions continues des coordonnées qui définissent la position de ces molécules.

Afin de bien préciser le sens que nous attribuons à la seconde hypothèse, dans le cas où le milieu élastique est discontinu (cas qui paraît être le plus général dans a nature), nous rappellerons les explications données par Lamé :

« Si le milieu est composé de points matériels non con-« tigus qui se déplacent réellement, les points géomé-« triques situés sur les intervalles qui séparent les molé-« cules peuvent être considérés comme se déplaçant aussi. « On conçoit, en effet, que si les déplacements de toutes « les molécules étaient observés et mesurés, on pourrait « déterminer par l'interpolation des fonctions continues « qui reproduiraient d'abord toutes les observations et qui « donneraient en outre les déplacements pour les points « géométriques non occupés par la matière. Ce sont ces « fonctions continues que nous considérons. » (*Leçons sur l'élasticité*, p. 28.)

Ceci posé, considérons un des points du milieu élastique x, y, z, et autour de ce point imaginons que l'on décrive une sphère de rayon $d\mathrm{R}$ infiniment petit. Je vais prouver que, dans la déformation la plus générale du milieu élastique, cette sphère sera transformée en un ellipsoïde. En effet, soient X, Y, Z les coordonnées, dans le milieu élastique

déformé, du point dont les coordonnées étaient x, y, z avant la déformation. D'après notre second principe, les déplacements $X-x$, $Y-y$, $Z-z$ sont des fonctions continues de x, y, z; il en est donc de même des fonctions qui expriment X, Y, Z en x, y, z, ou inversement x, y, z en X, Y, Z. Et en nous limitant dans un rayon infiniment petit autour du point considéré, nous pourrons écrire :

$$(1)\quad \left\{\begin{aligned} dx &= \left(\frac{dx}{dX}\right) dX + \left(\frac{dx}{dY}\right) dY + \left(\frac{dx}{dZ}\right) dZ, \\ dy &= \left(\frac{dy}{dX}\right) dX + \left(\frac{dy}{dY}\right) dY + \left(\frac{dy}{dZ}\right) dZ, \\ dz &= \left(\frac{dz}{dX}\right) dX + \left(\frac{dz}{dY}\right) dY + \left(\frac{dz}{dZ}\right) dZ. \end{aligned}\right.$$

(Les expressions entre parenthèses sont les dérivées partielles de x, y, z par rapport à X, Y, Z, dérivées finies et continues d'après ce qui précède.)

Nous déduirons de là :

$$\begin{aligned} dx^2 + dy^2 + dz^2 = dX^2\Sigma \left(\frac{dx}{dX}\right)^2 + dY^2\Sigma \left(\frac{dx}{dY}\right)^2 + dZ^2\Sigma \left(\frac{dx}{dZ}\right)^2 \\ + 2dXdY\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)\left(\frac{dx}{dY}\right) + 2dXdZ\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)\left(\frac{dx}{dZ}\right) \\ + 2dYdZ\Sigma\left(\frac{dx}{dY}\right)\left(\frac{dx}{dZ}\right). \end{aligned}$$

Par conséquent les points de la surface sphérique de rayon dR, $dx^2 + dy^2 + dz^2 = dR^2$, se trouveront après la déformation sur la surface de l'ellipsoïde :

$$(2)\quad \left\{\begin{aligned} dR^2 = dX^2\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)^2 + dY^2\Sigma\left(\frac{dx}{dY}\right)^2 + dZ^2\Sigma\left(\frac{dx}{dZ}\right)^2 \\ + 2dXdY\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)\left(\frac{dx}{dY}\right) + 2dXdZ\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)\left(\frac{dx}{dZ}\right) \\ + 2dYdZ\Sigma\left(\frac{dx}{dY}\right)\left(\frac{dx}{dZ}\right). \end{aligned}\right.$$

Une surface de cette espèce a trois plans de symétrie; si nous les prenons pour plans coordonnées des X, Y, Z, nous aurons :

$$(3)\quad \left\{\begin{aligned} &\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)\left(\frac{dx}{dY}\right)=0,\\ &\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)\left(\frac{dx}{dZ}\right)=0,\\ &\Sigma\left(\frac{dx}{dY}\right)\left(\frac{dx}{dZ}\right)=0,\end{aligned}\right.$$

et l'équation de l'ellipsoïde résultant de la déformation de la sphère de rayon dR sera réduite à :

$$(4)\quad dX^2\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)^2+dY^2\Sigma\left(\frac{dx}{dY}\right)^2+dZ^2\Sigma\left(\frac{dx}{dZ}\right)^2=dR^2.$$

Considérons deux lignes droites allant de l'origine aux points dx_1, dy_1, dz_1 et dx_2, dy_2, dz_2, et les droites correspondantes allant de la nouvelle origine aux points dX_1, dY_1, dZ_1 et dX_2, dY_2, dZ_2. Si les premières sont rectangulaires, et si par suite on a : $dx_1dx_2+dy_1dy_2+dz_1dz_2=0$, nous aurons, en remplaçant dans cette relation dx_1, dy_1, dz_1, dx_2, dy_2, dz_2 par leurs valeurs en $dX_1, dY_1, dZ_1, dX_2, dY_2, dZ_2$ tirées des équations (1) et en simplifiant en vertu des équations (3) :

$$(5)\quad \left\{\begin{aligned} &dX_1dX_2\Sigma\left(\frac{dx}{dX}\right)^2+dY_1dY_2\Sigma\left(\frac{dx}{dY}\right)^2\\ &\qquad+dZ_1dZ_2\Sigma\left(\frac{dx}{dZ}\right)^2=0.\end{aligned}\right.$$

Si donc nous considérons toutes les directions $dx_2, dy_2\ dz_2$ perpendiculaires à la direction dx_1, dy_1, dz_1, leurs correspondantes après déformation dX_2, dY_2, dZ_2 formeront un plan qui est représenté par l'équation (5), c'est-à-dire qui est le plan diamétral conjugué de la direction dX_1, dY_1, dZ_1 dans l'ellipsoïde représenté par l'équation (4).

Comme chaque direction dX_1, dY_1, dZ_1 a pour correspon-

dante une direction unique dx_1, dy_1, dz_1 (ainsi, du reste, qu'il résulte des équations (1) qui sont du premier degré), la proposition inverse est également vraie. Il est aisé d'en déduire, comme cas particulier, que les trois axes de l'ellipsoïde (4) ont pour droites correspondantes avant la déformation trois droites rectangulaires. Je supposerai que ces dernières soient prises pour axes des x, y, z, et comme je devrai alors avoir correspondance entre les axes des x et des X, des y et des Y, des z et des Z, c'est-à-dire : $dy = 0$, $dz = 0$ pour $dY = 0$, $dZ = 0$, et ainsi de suite, les six coefficients différentiels

$$\left(\frac{dy}{dX}\right), \left(\frac{dz}{dX}\right), \left(\frac{dx}{dY}\right), \left(\frac{dz}{dY}\right), \left(\frac{dx}{dZ}\right), \left(\frac{dy}{dZ}\right)$$

seront nécessairement nuls. Ainsi, par suite d'un choix convenable des axes coordonnés, je puis réduire les équations (1) exprimant la déformation élastique dans un rayon infiniment petit autour du point considéré, aux suivantes :

$$(6)\qquad \begin{cases} dx = \left(\dfrac{dx}{dX}\right) dX, \\ dy = \left(\dfrac{dy}{dY}\right) dY, \\ dz = \left(\dfrac{dz}{dZ}\right) dZ. \end{cases}$$

Nous venons de montrer que la déformation élémentaire la plus générale d'un milieu élastique pouvait être représentée soit par la sphère se transformant en un ellipsoïde, soit par un certain cube circonscrit à la sphère se transformant en un parallélipipède rectangle à trois côtés inégaux. Il nous sera aisé de passer de là à l'expression la plus générale de la force élastique, à l'aide du premier de nos deux principes, celui de la proportionnalité entre la force élastique et la déformation.

Supposons d'abord le cas particulier où le milieu élastique admet pour plans de symétrie les trois plans principaux de l'ellipsoïde de déformation (*fig.* 1, Pl. III) et considérons une aire située dans l'un de ces plans yox et symétrique par rapport aux axes ox et oy, je dis que la force élastique développée sur cette aire Ω par la déformation est normale à son plan yox.

En effet, la constitution du milieu élastique est supposée telle qu'il admet pour plans de symétrie les plans zoy, zox; d'autre part, la déformation à laquelle il est soumis admet aussi pour plans de symétrie les plans zoy, zox, qui sont des plans principaux de l'ellipsoïde de déformation. Donc si nous décomposons l'aire Ω en éléments égaux $dx\,dy$, et si nous composons d'abord les forces élastiques relatives aux éléments symétriques dont les centres sont m_1, m_2, m_3, m_4, nous verrons immédiatement : 1° que la résultante des deux forces élastiques élémentaires (*) qui s'exercent aux points m_1 et m_2 est nécessairement comprise dans le plan zoy; 2° qu'il en est de même de la résultante des deux forces élastiques qui s'exercent aux points m_3 et m_4 et par suite de la résultante générale des quatre forces élastiques élémentaires considérées; 3° que pour une raison analogue, cette résultante générale doit être également comprise dans le plan zox, et qu'enfin sa direction ne peut être autre que celle de l'axe oz, intersection des plans zox et zoy.

Les solides homogènes et d'élasticité constante doivent, par définition, présenter une symétrie parfaite autour de chacun de leurs points, pour tout ce qui concerne les propriétés élastiques. Ils doivent donc jouir de toutes les pro-

(*) Si l'on admettait que l'action élastique élémentaire comprend un couple, on verrait de même que le couple résultant des quatre couples s'exerçant sur les éléments m_1, m_2, m_3 et m_4 est nécessairement nul.

priétés des milieux où la symétrie est moins complète et, par exemple, de celle que nous venons de démontrer ci-dessus. Donc si nous supposons qu'un tel milieu soit soumis à une déformation quelconque, et si nous le concevons découpé en éléments parallélipipédiques dont les arêtes soient en chaque point parallèles aux axes de l'ellipsoïde de déformation, les forces élastiques qui s'exerceront entre ces divers éléments seront normales aux faces planes qui les séparent.

Il reste à déterminer la valeur de ces forces élastiques. Or si nous considérons un des éléments $dxdydz$ qui, après déformation, est devenu $dXdYdZ$, la force élastique P qu'il développe sur sa base ω, en vertu de la déformation, ne peut dépendre que des variables qui définissent cette déformation, c'est-à-dire des rapports $\frac{dX}{dx}, \frac{dY}{dy}, \frac{dZ}{dz}$, entre les dimensions des arêtes primitives et celles des arêtes déformées (car les angles du parallélipipède $dxdy$ dz ne sont pas déformés).

Ainsi l'on doit avoir :

$$\frac{P}{\omega} = F\left(\frac{dX}{dx}, \frac{dY}{dy}, \frac{dZ}{dz}\right),$$

ou encore, si l'on appelle du, dv, dw les déformations des arêtes, c'est-à-dire si l'on pose $X = x + u$, $Y = y + v$, $Z = z + w$,

$$\frac{P}{\omega} = F\left(1 + \frac{du}{dx}, 1 + \frac{dv}{dy}, 1 + \frac{dw}{dz}\right) = \varphi\left(\frac{du}{dx}, \frac{dv}{dy}, \frac{dw}{dz}\right).$$

La fonction φ doit s'annuler quand la déformation est nulle, c'est-à-dire pour $\frac{du}{dx} = 0$. $\frac{dv}{dy} = 0$, $\frac{dw}{dz} = 0$. De plus, nous admettons, en vertu de notre premier principe, que la force élastique croît proportionnellement à la défor-

mation, c'est-à-dire que $\frac{P}{\omega}$ est du premier degré en $\frac{du}{dx}, \frac{dv}{dy}, \frac{dw}{dz}$, ou que nous pouvons négliger les termes de degré supérieur au premier dans le développement de la fonction φ. Donc l'expression la plus générale de $\frac{P}{\omega}$ peut être réduite à la formule

$$\frac{P}{\omega} = A\frac{du}{dx} + B\frac{dv}{dy} + C\frac{dw}{dz}.$$

On peut ajouter que $A = B$ pour les solides homogènes et d'élasticité constante. En effet, si A et B étaient inégaux, la valeur de $\frac{P}{\omega}$ changerait quand on intervertirait les déformations des deux arêtes parallèles à ox et à oy et le milieu élastique se comporterait comme un milieu dyssymétrique par rapport au plan bissecteur de zox et zoy.

En résumé, pour les milieux homogènes et d'élasticité constante, l'expression la plus générale de la force élastique

$$(7) \qquad \frac{P}{\omega} = A\left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right) + C\frac{dw}{dz}$$

ne renferme que deux constantes A et C qui se retrouveront les mêmes en tous les points et pour toutes les directions, et qui, par conséquent, suffisent pour définir le milieu au point de vue de ses propriétés élastiques.

Nous avons l'expression des forces élastiques correspondant aux variations des longueurs des arêtes du cube élémentaire $dxdydz$; nous allons en déduire celle des forces élastiques qui correspondent aux variations de ses angles dièdres.

Ainsi, soit un cube, et supposons qu'il soit déformé de telle sorte que les longueurs de ses arêtes restent con-

stantes et que l'un de ses angles dièdres soit réduit de 90° à 90° — α, les deux autres dièdres restant constants et égaux à 90°. Soit ABCD (*fig.* 2, Pl. III) la base du cube normale à l'arête du dièdre déformé; si nous prenons pour axes des x et des y les diagonales AC et BD et que nous découpions le cube en éléments cubiques $dxdydz$ par des plans parallèles aux plans coordonnés, nous reconnaîtrons aisément que, dans la déformation, les arêtes de ces éléments cubiques varient, mais que leurs faces restent parallèles aux plans coordonnés et par suite perpendiculaires entre elles. Nous pourrons donc calculer par la formule (7) les forces élastiques développées sur les faces des éléments cubiques.

Soit A'B'C'D' (*fig.* 3) ce que devient la face ABCD après déformation; nous verrons que toutes les arêtes élémentaires parallèles à OA se sont allongées dans le rapport de OA' à OA, c'est-à-dire que

$$\frac{dX}{dx} = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B' \cos\left(45° - \frac{\alpha}{2}\right)}{AB \cos 45°} = \cos\frac{\alpha}{2} + \sin\frac{\alpha}{2},$$

puisque $A'B' = AB$.

Donc

$$\frac{du}{dx} = \frac{dX}{dx} - 1 = \sin\frac{\alpha}{2} - 2\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$$

en négligeant les puissances supérieures de la déformation α.

On trouverait de même $\dfrac{dv}{dy} = -\dfrac{\alpha}{2}$;

et enfin on a $\dfrac{dw}{dz} = 0$, puisque la longueur de la troisième arête du cube ne varie pas.

Substituons dans la formule (7) ces valeurs des quantités $\dfrac{du}{dx}$, $\dfrac{dv}{dy}$, $\dfrac{dw}{dz}$, nous trouverons pour les valeurs de

forces élastiques développées par la déformation sur les faces des éléments cubiques :

$$\frac{P}{\omega} = 0,$$

$$\frac{Q}{\omega'} = -(C - A)\frac{\alpha}{2},$$

$$\frac{R}{\omega''} = (C - A)\frac{\alpha}{2}.$$

De ces forces élémentaires nous pouvons maintenant passer aux forces totales développées sur les faces du cube considéré. En premier lieu, la force élastique totale est nulle pour les bases normales à l'arête du dièdre déformé, puisqu'elle est la résultante des forces parallèles P, toutes nulles. Pour une face latérale AB, nous avons à chercher la résultante des forces élastiques développées sur les facettes élémentaires terminales, telles que *mn* et *np*. Or, si nous considérons d'abord les facettes *mn* parallèles à AO, la résultante des forces élastiques correspondantes sera une force IK appliquée au centre I de la face du cube, parallèle à A'C', et donnée par la formule

$$\Sigma Q = -(C - A)\frac{\alpha}{2}\Sigma\omega'.$$

De même les forces élastiques développées sur les facettes élémentaires *np* auront pour résultante une force IL parallèle à B'D' et donnée par la formule

$$\Sigma R = +(C - A)\frac{\alpha}{2}\Sigma\omega''.$$

Et comme $\Sigma\omega' = \Sigma\omega'' = \Omega \cos 45°$ en appelant Ω l'aire de la face AB, on voit immédiatement que la résultante des deux forces IK et IL est une troisième force IN appli-

quée au centre I de la face parallèlement à l'arête AB du cube, et dont la valeur est donnée par la formule

$$(8) \qquad \frac{T}{\Omega} = (C - A)\frac{\alpha}{2}.$$

Ainsi, dans ce cas les forces élastiques développées par la déformation sont parallèles aux faces sur lesquelles elles s'exercent ; ce sont des tractions.

Il est facile de passer des résultats précédents aux formules générales de Lamé. Soit un milieu élastique homogène et d'élasticité constante, soumis à des forces quelconques, et supposons que sous l'influence de ces forces il ait subi une déformation déterminée ; nous cherchons l'expression des forces élastiques que cette déformation développe sur les faces du cube élémentaire $dxdydz$. Dans la déformation, le cube élémentaire est devenu un parallélipipède à arêtes inégales et à angles dièdres différents de 90° ; comme les forces élastiques ne dépendent évidemment que de l'état final, on peut supposer que la déformation se soit faite en deux périodes successives et que dans la première les arêtes aient changé de longueur, les dièdres restant égaux à 90°, dans la seconde les dièdres aient varié, les arêtes restant constantes. Les forces élastiques développées par la première déformation sont six forces normales aux faces du cube $dxdydz$, deux à deux égales et contraires, dont les expressions rapportées à l'unité de surface sont d'après l'équation (7) :

$$N_1 = A\left(\frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}\right) + C\frac{du}{dx},$$

$$N_2 = A\left(\frac{du}{dx} + \frac{dw}{dz}\right) + C\frac{dv}{dy},$$

$$N_3 = A\left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy}\right) + C\frac{dw}{dz}.$$

Les forces élastiques développées par la seconde défor-

mation sont douze forces parallèles aux faces du cube sur lesquelles elles s'exercent, qui se partagent en trois groupes de quatre forces égales et constituant deux couples égaux de sens opposés. Leurs expressions rapportées à l'unité de surface sont d'après l'équation (8) :

$$T_1 = \frac{C - A}{2} \alpha_1,$$

$$T_2 = \frac{C - A}{2} \alpha_2,$$

$$T_3 = \frac{C - A}{2} \alpha_3.$$

Or α_1 est la variation du dièdre dont l'arête est dx, ou encore si l'on néglige les termes du second ordre, c'est la variation de l'angle formé par les projections des arêtes dy et dz sur le plan de yoz. On reconnaît immédiatement à l'inspection de la *fig.* 4, Pl. III, que l'angle que fait avec l'axe des z la projection de l'arête dz après la déformation, a pour valeur $\frac{dv}{dz}$, et de même que l'angle fait avec l'axe des y par la projection de l'arête dy est représenté par $\frac{dw}{dy}$; par suite que l'angle α_1, égal à la somme des deux précédents est donné par la formule

$$\alpha_1 = \frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}.$$

On obtiendrait de même les valeurs de α_2 et α_3

$$\alpha_2 = \frac{dw}{dx} + \frac{du}{dz},$$

$$\alpha_3 = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}.$$

Si nous substituons ces valeurs dans les équations pré-

cédentes, puis que nous posions suivant les notations de Lamé :

$$A = \lambda,$$
$$C = \lambda + 2\mu,$$

d'où

$$\frac{C - A}{2} = \mu,$$

et enfin

$$\theta = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz}$$

(θ est la compression cubique éprouvée par l'élément $dxdydz$ dans la déformation), nous obtiendrons enfin :

$$(9) \quad \begin{cases} N_1 = \lambda\theta + 2\mu \dfrac{du}{dx}, \\ N_2 = \lambda\theta + 2\mu \dfrac{dv}{dy}, \\ N_3 = \lambda\theta + 2\mu \dfrac{dw}{dz}, \\ T_1 = \mu \left(\dfrac{dv}{dz} + \dfrac{dw}{dy}\right), \\ T_2 = \mu \left(\dfrac{dw}{dx} + \dfrac{du}{dz}\right), \\ T_3 = \mu \left(\dfrac{du}{dy} + \dfrac{dv}{dx}\right). \end{cases}$$

Ce sont les formules générales que nous cherchions, telles que Lamé les donne (*Leçons sur l'élasticité*, page 51).

Nous venons d'étudier les lois de l'élasticité pour les milieux d'élasticité constante; je dirai également quelques mots des milieux à élasticité variable, et par exemple des milieux cristallins où l'élasticité varie suivant la direction du déplacement moléculaire, mais ne change pas d'un point à l'autre, si la direction considérée reste constante. Prenons d'abord les systèmes cristallins à axes rectangulaires

et par exemple le quatrième qui a trois axes inégaux. Un milieu ainsi constitué admet, en un quelconque de ses points, trois plans de symétrie rectangulaires entre eux ; nous pouvons donc lui appliquer une proposition précédente et conclure que si le cube élémentaire $dxdydz$ a ses arêtes parallèles à l'axe du cristal, la variation de longueur des arêtes sans déformation des dièdres ne donnera naissance qu'à des forces élastiques normales aux faces du cube et dont l'expression la plus générale sera :

$$\frac{P}{\omega} = A\frac{du}{dx} + B\frac{dv}{dy} + C\frac{dw}{dz}.$$

Cherchons quelles sont les forces produites par la déformation du dièdre. Soit ABCD (*fig.* 5) la section normale à l'arête du dièdre déformé A qui primitivement égal à 90° est devenue 90° — α. Comme toutes les forces élastiques doivent croître proportionnellement à la déformation d'après notre premier principe, elles doivent changer de sens quand la déformation change de signe, quand le dièdre A, au lieu de passer de 90° à 90° — α, passe de 90° à 90° + α (du reste ce principe peut aussi se déduire de ce que, si l'on superpose la déformation 90° + α à la déformation 90° — α, on revient à l'état naturel, et toutes les forces élastiques doivent s'annuler). Or on peut passer du solide ABCD, présentant la déformation 90° — α au solide A'B'C'D' présentant la déformation 90° + α par une rotation de 180° autour de l'axe yoy' normal à la face AB, et cette rotation ne change aucunement les conditions d'équilibre du milieu élastique, car, appliquée au cube primitif $abcd$, elle remplace chacun de ses éléments par un élément symétrique semblablement placé, et par suite présentant la même élasticité dans chaque direction (en effet nous avons supposé que les plans yox et yoz étaient des plans de symétrie pour le milieu élastique).

Ceci posé, nous pouvons conclure que la rotation qui

fait passer de la déformation $90° - \alpha$ à la déformation $90° + \alpha$ doit faire changer de sens toutes les forces élastiques, et par suite que celles dont la direction ne change pas dans la rotation doivent être nulles. Ainsi nous avons en premier lieu :

$$N_1 = 0,$$
$$N_2 = 0,$$
$$N_3 = 0.$$

car la rotation ne change pas les forces normales aux faces agissant dans le sens de la compression en forces normales agissant dans le sens de l'extension.

Les forces élastiques développées par la déformation du dièdre se réduisent donc à des tractions, et nous pouvons ajouter que celles qui s'exercent sur les faces AB, BC, CD, AD doivent être comprises dans le plan yox, à cause de la symétrie complète que présente, par rapport à ce plan, soit le milieu élastique, soit la déformation à laquelle il est soumis (*). Nous devons donc avoir encore :

$$T_1 = 0, \qquad T_2 = 0;$$

et les forces élastiques développées par la déformation du dièdre se réduisent en définitive à quatre tractions égales T_3 formant deux couples égaux et de sens contraire.

Ainsi dans le système trirectangulaire, ou quatrième système cristallin, nous arrivons à des formules qui ressem-

(*) Le cube ABCD et le cube symétrique par rapport au plan yox présentent les mêmes conditions d'équilibre élastique; soumis à la même déformation $90° - \alpha$, ils doivent développer les mêmes forces élastiques. Donc ces forces et leurs symétriques, par rapport au plan yox, doivent être identiques.

La même considération montre que les tractions qui s'exercent sur les deux faces normales au dièdre déformé sont nulles; car, d'un côté, elles sont parallèles et de sens opposés, comme s'exerçant sur les deux faces opposées du cube, et de l'autre, à cause de la symétrie par rapport au plan yox, elles doivent être parallèles et de même sens.

blent beaucoup à celles relatives aux milieux d'élasticité constante. En prenant pour axes coordonnés les trois axes principaux du système cristallin, les forces élastiques développées par la déformation la plus générale du cube élémentaire $dxdydz$, se divisent en deux catégories : 1° les forces N normales aux faces sur lesquelles elles s'exercent, dont la valeur ne dépend que de la variation des longueurs des arêtes et peut s'écrire, si on la rapporte à l'unité de surface,

$$N = A\frac{du}{dx} + B\frac{dv}{dy} + C\frac{dw}{dz};$$

2° les tractions T, parallèles aux faces sur lesquelles elles s'exercent, qui correspondeut aux variations des dièdres du cube élémentaire et dont la valeur est :

$$T = L\alpha = L\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right).$$

Les coefficients A, B, C, L varient d'une face à l'autre, et nous avons en définitive $3.4 = 12$ coefficients différents.

Si du système trirectangulaire à trois axes inégaux nous passons au système quadratique, ou deuxième système cristallin, deux des axes deviennent égaux et l'on voit immédiatement que

$$\begin{aligned} 1^\circ\quad A_3 &= A_2, \\ B_3 &= B_2, \\ C_3 &= C_2, \\ L_3 &= L_2, \\ 2^\circ\quad B_1 &= C_1. \end{aligned}$$

Ainsi les coefficients d'élasticité se réduisent à 7.

Si enfin nous passons au système cubique, ou premier système cristallin, il ne reste plus que trois coefficients d'élasticité, à savoir :

$$A_1, \quad B_1 = C_1 \quad \text{et} \quad L_1;$$

et la seule différence qui subsiste entre ce cas et celui du milieu à élasticité constante, c'est que la constante L, qui détermine la valeur des tractions T, reste indépendante des deux constantes A et B, qui déterminent la valeur des pressions normales.

Pour les systèmes cristallins obliques, les formules deviennent plus complexes. Par exemple, pour le sixième système il y a trente-six coefficients (*), car il y a six forces distinctes N_1, N_2, N_3, T_1, T_2, T_3, dont chacune dépend des six éléments qui définissent la déformation du parallélipipède oblique élémentaire, à savoir les variations de longueur des trois arêtes et les variations des trois dièdres. Ces trente-six coefficients se réduisent à vingt quand on passe au cinquième système; car, à cause du plan de symétrie, les coefficients qui entrent dans la valeur de N_3 et T_3 sont les mêmes que ceux de N_2 et T_2, et de plus dans N_1 et T_1 le nombre des coefficients distincts se réduit de 6 à 4. Enfin, dans le système rhomboédrique, nous ne trouvons plus que huit coefficients, qui sont ceux des formules précédentes de N_1 et de T_1.

Disons quelques mots d'une question qui se présente naturellement à la suite de ce qui précède. Nous avons réduit les coefficients d'élasticité à deux dans le cas du solide homogène et d'élasticité constante; n'est-il pas possible d'aller plus loin et de les réduire à un seul?

Si l'on examine les formules qui donnent les valeurs des forces élastiques, on reconnaît aisément que les deux coefficients λ et μ correspondent à des déformations de nature différente. Le premier coefficient, λ, disparaît des formules dès que $\theta = 0$, c'est-à-dire, dès que la variation du volume élémentaire est nulle; ainsi, il n'intervient que pour déterminer les forces élastiques développées par la compression

(*) Ce sont les 36 coefficients des formules générales de Lamé (*Leçons sur l'élasticité*, page 33).

cubique, tandis que le second coefficient, μ, détermine celles qui correspondent à la déformation proprement dite, au changement de figure qui transforme la sphère élémentaire en un ellipsoïde à axes inégaux. Ce sont deux phénomènes essentiellement distincts, et il paraît fort probable que les coefficients qui leur correspondent doivent rester indépendants, si l'on ne précise pas les conditions de la constitution du milieu élastique.

Il est vrai que Navier, Poisson et Cauchy sont arrivés au résultat $\lambda = \mu$, en admettant que la pression intérieure est nulle, lorsque le milieu élastique n'est soumis à aucune force extérieure. Mais cette hypothèse est fort sujette à contestation, car on sait que, dans les liquides, la force de contraction de la pellicule superficielle est très-appréciable, et l'on ne voit pas pourquoi il n'en serait pas de même pour les solides. Et de plus, ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'analyse de ces géomètres suppose que l'action de deux molécules voisines se réduit à une force unique, fonction de la distance, et dirigée suivant la ligne qui les joint : ce qui est évidemment une hypothèse incomplète, en contradiction avec les faits de la cristallisation.

Les physiciens qui ont soumis la question au contrôle de l'expérience ont trouvé, soit $\lambda = \mu$ (Cagniard-Latour, Kirchof, Cornu), soit $\lambda = 2\mu$ (Wertheim) ; ils ont généralement expérimenté sur des corps durs, tels que le verre, l'acier. Mais quand on passe des solides durs aux solides mous, et finalement aux liquides, il semble que le coefficient μ décroît graduellement jusqu'à o, tandis qu'il n'en est pas de même du coefficient λ. Le liquide parfait ne présente plus de résistance appréciable au changement de figure, tandis qu'il résiste très-bien à la compression cubique. On objectera peut-être que ce qui est nul dans le liquide, c'est la limite d'élasticité et non le coefficient μ, et que nous n'avons aucune idée sur la valeur de ce coefficient, qui correspond à des phénomènes insensibles pour

nous jusqu'à ce jour. Mais si l'on ne nous autorise pas à invoquer les liquides parfaits, nous pourrons citer sur la limite de l'état solide et de l'état liquide des corps nombreux, tels que la gélatine, le caoutchouc, les gelées diverses, pour lesquels le coefficient μ devient très-faible (car nous les voyons se déformer très-fortement sous l'action de très-faibles forces, sans que la limite d'élasticité soit dépassée), tandis que le coefficient λ reste considérable. Nous pourrons avec des gelées suffisamment étendues d'eau réduire autant que nous le voudrons la valeur de μ, tandis que λ conservera la valeur correspondant à la compressibilité cubique de l'eau. De même, pour le caoutchouc, nous pouvons, en faisant varier la température de 0° à 100°, faire varier dans de très-fortes proportions la valeur de μ qui mesure la souplesse de la matière, tandis que la résistance à la compression cubique n'éprouve pas des modifications de même importance.

Nous croyons donc certain, ainsi que Lamé l'a annoncé, que la valeur de $\frac{\lambda}{\mu}$ n'est pas constante dans tous les milieux élastiques. Si ce fait n'est pas encore bien démontré expérimentalement, il nous semble qu'on doit l'attribuer au petit nombre des corps solides sur lesquels ont été faites des recherches expérimentales à ce sujet, et surtout à la difficulté que présente la détermination précise du coefficient λ pour les solides.

Lamé termine ses leçons sur l'élasticité par quelques réflexions sur la constitution intérieure des corps solides; on nous pardonnera de suivre son exemple et d'appeler l'attention sur une théorie qui a été émise par un de nos plus illustres chimistes.

Dans une leçon sur l'affinité, M. H. Sainte-Claire-Deville a cherché à montrer que la force que l'on appelle la cohésion est « *une pure fiction mathématique* » et qu'il ne faut y voir que la résistance de la fibre, élément primordial du

corps solide. « Un carton épais, dit-il, est l'image fidèle d'un corps solide amorphe, et ses fibrilles enchevêtrées dans tous les sens doivent leur cohésion à leur enchevêtrement même. » Cette image fort simple a l'avantage de ramener les questions de résistance élastique des solides à des questions de texture, si je puis ainsi m'exprimer. J'indiquerai quelques faits qui me paraissent venir à l'appui de la conception de M. H. Sainte-Claire-Deville et montrer qu'elle peut présenter un véritable intérêt pour l'ingénieur.

La texture fibreuse est apparente dans la plupart des corps où la cohésion est le plus développée. En outre des matières diverses du règne végétal et du règne animal que l'industrie recherche pour cette qualité physique, nous pouvons citer les métaux comme présentant souvent la texture fibreuse ou soyeuse à un degré remarquable. On sait que dans l'affinage du cuivre, c'est le caractère de la cassure, à savoir la finesse des fibres que donne la rupture par arrachement, qui sert à reconnaître l'instant précis de la plus grande pureté. L'argent chimiquement pur présente le même caractère; il donne par arrachement une cassure soyeuse très-belle. On peut encore citer le fer très-pur non aciéreux, et particulièrement celui qui a été étiré ou laminé; j'ajouterai que la fibre très-fine et brillante qui caractérise le fer pur, se distingue parfaitement du nerf noir et grossier qui caractérise dans les mêmes conditions le fer non complétement purgé des scories du puddlage. Ces fibres fines ou soies que la rupture par arrachement met en évidence dans les métaux purs peuvent très-bien être comparées, au point de vue des dimensions, à celles qui constituent le papier. En effet, d'après les recherches d'Aimé Girard, ces dernières ont en général $0^{mm},3$ à $0^{mm},5$ de longueur et un diamètre inférieur à 1/50e de la longueur, c'est-à-dire de quelques millièmes de millimètre (*).

(*) Voyez les *Comptes rendus de l'Académie* du 15 mars 1875.

L'étirage a sur la résistance des métaux une influence considérable qui peut être rattachée à la même conception. On sait depuis longtemps que les fils fins de fer ou de cuivre résistent, à section égale, mieux que les gros fils; que les gros fils résistent mieux que le métal fondu et non étiré. On a attribué la différence à la qualité supérieure du métal qui peut supporter l'étirage en fils très-fins; mais cette considération est loin de suffire pour expliquer les résultats obtenus. Par exemple, on a fabriqué des fils de fer résistant à 200 kilogrammes par millimètre carré, des fils de cuivre résistant à 70 kilogrammes, et certainement aucun fabricant ne se chargerait de produire des métaux qui, non étirés, résistent à des pressions même moindres de moitié. On peut dire, pour expliquer cette influence de l'étirage, du laminage, que la texture du métal est changée, que les fibres qui le composent sont orientées dans la direction suivant laquelle le métal subit un allongement. Dans le métal non étiré, simplement fondu, les fibres sont orientées indifféremment dans toutes les directions: il n'y en a que le tiers qui résiste à la rupture dans un sens donné; dans le métal étiré il peut y en avoir les deux tiers ou même plus qui doivent être rompues, si la traction s'exerce dans le sens de l'étirage.

Cette manière de concevoir l'influence de l'étirage est confirmée par un fait connu. Le métal laminé, la feuille de tôle de fer ou d'acier, présente trois résistances inégales à la rupture ; la résistance est la plus grande dans le sens du laminage, c'est-à-dire dans le sens de la longueur de la feuille; elle est minimum dans le sens de l'épaisseur.

Les métaux qui résistent le mieux à la rupture présentent souvent un défaut grave quand ils sont absolument purs : ils sont mous, c'est-à-dire que la déformation permanente commence sous l'influence de forces qui sont de beaucoup inférieures à la force nécessaire pour les rompre. Je puis citer comme exemple le fer, le cuivre, l'ar-

gent, l'or, le platine. Pour corriger ce défaut du métal pur, on l'allie à une petite proportion d'un métal étranger ou même dans certains cas d'un métalloïde; c'est ainsi qu'on obtient l'acier, le bronze, le métal des monnaies, etc. Le métal composé est notablement plus dur que le métal pur et par suite se prête mieux aux applications; il devient même cassant si la dose du corps étranger dépasse une certaine limite, et c'est là l'écueil que présente quelquefois son emploi. Mais au point de vue de la résistance que la fibre élémentaire, sous une section donnée, oppose à la rupture, c'est le métal pur qui l'emporte; par exemple, on sait que le fer le plus pur et le plus mou peut donner des chiffres plus élevés que le meilleur acier, pour la force de rupture, si l'on rapporte cette force à la section de rupture.

La faible proportion du principe étranger, la faiblesse ou la nullité de son action chimique sur le métal principal ne permettent guère de croire à l'existence d'un composé chimique proprement dit, quoique les propriétés physiques et particulièrement les propriétés élastiques aient été modifiées d'une manière très-remarquable. Ne pourrait-on plutôt comparer cette action du corps étranger sur le métal principal à celle de la matière mucilagineuse que l'on emploie dans la fabrication du papier pour l'encoller, et dont le rôle n'est pas, évidemment, d'augmenter la résistance de la fibre, mais simplement d'empêcher les fibres voisines de glisser les unes sur les autres? Dans cet ordre d'idées, le métal pur, le fer doux, par exemple, est regardé comme un assemblage de fibres très-résistantes, mais glissant facilement les unes sur les autres; une force très-faible suffit pour produire ce glissement, pour donner lieu à une déformation permanente. Mais si vous disséminez dans la masse quelques millièmes de carbone, ces nouveaux atomes qui exercent leur action sur plusieurs atomes de fer appartenant à des fibres différentes suffisent pour relier

entre elles ces fibres, pour les empêcher de glisser facilement l'une sur l'autre. La limite d'élasticité devient donc plus élevée dans le métal composé ; quant à la résistance à la rupture, elle peut n'être pas altérée sensiblement, car elle correspond toujours à la force nécessaire pour rompre la fibre qui n'est pas altérée.

La leçon sur l'affinité renferme diverses considérations sur les faits relatifs à l'état cristallin et sur les preuves qu'ils apportent à l'appui de l'hypothèse de la fibre moléculaire. Nous n'envisagerons pas ce côté de la question; mais nous dirons quelques mots d'une objection qui se présente immédiatement à l'esprit du géomètre qui essaye de soumettre au calcul les idées de M. H. Sainte-Claire-Deville.

Traduite en langage mécanique, la proposition que la fibre est l'élément primordial du solide revient à celle-ci : que l'action moléculaire très-énergique dans le sens d'un axe, qui devient l'axe de la fibre, est très-faible ou nulle dans le sens latéral à cet axe. Mais si telle est réellement la loi de l'action moléculaire, pourquoi dans le liquide ne trouvons-nous plus ni fibre, ni axe de l'action moléculaire? Comment un changement d'état où les distances des molécules varient à peine peut-il changer, non plus seulement la grandeur, mais même les caractères les plus remarquables des forces qui s'exercent entre ces molécules?

La manière la plus simple de répondre à cette difficulté nous paraît être la suivante. Nous savons que la molécule du solide présente un axe dont les deux extrémités sont de nature différente (nous ne pourrions autrement concevoir l'orientation de cet axe dans le phénomène de la cristallisation). Or deux molécules de cette espèce $\underline{1\quad 2}$ peuvent s'agréger de deux façons différentes : 1° avec des axes parallèles et de même sens $\underline{1\quad 2}\ \underline{1\quad 2}$; 2° avec des axes parallèles et de sens opposés $\frac{1\quad 2}{2\quad 1}$. Dans le premier cas,

l'agrégation peut et doit continuer par les deux extrémités libres, et l'on voit qu'elle donne naissance à la fibre du solide. Dans le second cas, il y a neutralisation des actions opposées des pôles voisins de nom contraire, et la molécule double ne tend plus à orienter les autres molécules, à constituer la fibre. C'est la molécule du liquide, composée de deux molécules simples qui se compensent, si je puis emprunter cette expression à la théorie du magnétisme.

Le changement d'état apparaît ainsi comme un simple changement dans le mode de juxtaposition des atomes; c'est l'explication admise en chimie pour l'isomérie, en physique pour l'allotropie. Il reste seulement à reconnaître, de même que pour l'allotropie, comment un état d'agrégation stable à une certaine température devient instable à une autre température ; et c'est ce que la physique ne nous a pas encore appris.

Tarbes, le 4 mai 1875.

NOTICE

SUR LE SONDAGE AU DIAMANT EXÉCUTÉ A RHEINFELDEN (ARGOVIE).

Par M. E. DUPONT, ingénieur en chef des mines.

Une note de M. E. Grüner (fils), insérée dans la 3ᵉ livraison de 1875, a appelé l'attention des lecteurs des *Annales des mines* sur le sondage au diamant de Rheinfelden (Argovie), destiné à traverser le grès rouge, pour rechercher le terrain houiller que l'on voit affleurer aux pieds de la forêt Noire et des Vosges (Ronchamp).

Le 18 septembre dernier, j'ai fait avec mon fils, ingénieur au chemin de fer du Nord, une visite au sondage de Rheinfelden : M. Schmidtmann, chef de l'entreprise du sondage, qui nous avait accompagnés sur les lieux avec une extrême complaisance, m'a écrit à la date du 17 octobre, m'apprenant que la perforation avait été arrêtée après avoir atteint le terrain primitif. M. Schmidtmann, de passage à Paris ces jours derniers, a eu la bonté de me montrer son carnet de sondage, et de me donner verbalement quelques renseignements sommaires, que j'ai cru devoir réunir dans une courte notice.

Malgré son résultat *négatif*, le sondage de Rheinfelden mérite d'intéresser les ingénieurs, en raison de la rapidité de son exécution et des tentatives qu'il peut provoquer, particulièrement en France, pour la traversée des grès bigarrés, en vue de rechercher et atteindre le terrain houiller.

Le sondage de Rheinfelden a été entrepris par la *Compagnie Suisse de sondages pour recherches de houille*, dont le siége est à Aarau, et qui compte parmi les membres de son Conseil d'administration :

MM. Heer-Herzog, conseiller national, président du Conseil d'administration de la compagnie du chemin de fer du Saint-Gothard à Aarau;

Ziegler, membre du Conseil des États suisses à Winterthur,

Sulzer-Hirzel, constructeur à Winterthur, etc.

L'emplacement avait été désigné par M. le professeur Desor, de Neufchâtel, de concert avec plusieurs autres géologues.

La compagnie de sondage avait traité, pour l'entreprise de l'opération, avec M. Schmidtmann, de Leipsig.

Les travaux de mise en marche de la machine ont commencé le 14 août 1875, et ont duré jusqu'au 18 août :

	pieds.	pouces.	mètres.
Pendant ces cinq jours de mise en marche, on est arrivé, avec le diamètre initial de 3 pouces anglais (0m,076), à la profondeur de 100 pieds 8 pouces, ci.	100	8	30,68
La marche régulière a commencé le 19 août:			
Le 19 août, on a fait.	56	10	17,32
Le 20 idem.	65	3 1/2	19,90
Le 21 idem.	65	5	19,94
Le 22 idem.	71	11 1/2	21,93
Le 23 idem.	65	10	20,06
Le 24 (les éboulements commencent) idem.	47	10	14,58
Le 25 août, on a fait.	31	2	9,50
Le 26 idem.	34	3	10,44
Le 27 (nettoyage de la locomobile) idem. .	24	7 1/2	7,51
Le 28 août, on a fait.	47	4	14,43
Le 29 idem, ...	30	6 1/2	9,31
Le 30 idem.	34	10 1/2	10,63
Le 31 idem.	43	7	13,28
Le 1er septembre (10 heures de travail seulement, au lieu de 24), on a fait. . . .	18	9 1/2	5,73
Profondeur totale au 1er septembre.	739		225,24

A cette époque, les éboulements avaient augmenté au point de remplir le trou de sonde, après chaque sortie de

tige, jusqu'à la hauteur de 126 pieds (38^{m},40), et le tubage devenait nécessaire. Mais, pour tuber, il fallait préalablement élargir et aléser la partie supérieure, pour porter le diamètre de 3 pouces (0^{m},076) à 7 pouces (0^{m},178) : cet alésage fut ainsi fait avec la couronne de 7 pouces, jusqu'à la profondeur de 265 pieds (80^{m},77). On fit un alésage avec la couronne de 6 pouces (0^{m},152) jusqu'à la profondeur de 468 pieds (142^{m},64), et les deux sections furent tubées aux diamètres de 7 et 6 pouces.

Le restant du trou de sonde dut être nettoyé pour continuer le forage, mais on s'aperçut alors qu'il y avait encore une fissure dans le bas, au niveau de 580 pieds (176^{m},78), laquelle donnait passage à des poussées latérales, qui encombraient le trou de masses d'argile rouge et de fragments de schiste argileux.

Le trou fut élargi et alésé à 5 pouces (0^{m},127), depuis 468 pieds (141^{m},64) jusqu'à 580 pieds (176^{m},78), et l'on se disposa à descendre une nouvelle colonne de tubes de 5 pouces de 580 pieds de longueur (176^{m},78). C'est alors qu'une opération délicate fut entreprise : la colonne de tubes fut armée, à la base, d'une couronne de 5 pouces de diamètre (0^{m},127), avec 12 diamants, et, quand on fut arrivé à la fissure reconnue au niveau de 580 pieds (176^{m},78), on mit en mouvement de rotation toute la série de tubes de 5 pouces, comme une tige de sondage ordinaire, en ajoutant successivement, au fur et à mesure de la descente, des longueurs de tube de 5 pieds (1^{m},524) en 5 pieds. On parvint ainsi à roder le trou, à 5 pouces, depuis 580 pieds (176^{m},78) jusqu'à 640 pieds (195^{m},07), c'est-à-dire sur un parcours de 60 pieds (19^{m},79), à travers des éboulements constants et les parties les plus mauvaises du trou de sonde.

Quant aux 99 pieds restants (30^{m},17), pour atteindre la profondeur susmentionnée de 739 pieds, ils ont pu être nettoyés sans qu'un tubage fût nécessaire.

Ces opérations d'alésage, tubage et nettoyage furent terminées le 22 septembre.

	pieds.	pouces.	mètres.
On put donc reprendre le forage proprement dit, avec la couronne de 3 pouces (0m,076), à la profondeur de 739 pieds anglais, ci.	739		225,24
Le 22 septembre, on fit en 10 heures de poste de nuit.	27		8,23
Le 23, on a fait.	57	4	17,47
Le 24 idem.	61	10 1/2	18,86
Le 25 idem.	64	2 1/2	19,57
Le 26 idem.	76	8	23,37
Le 27 idem.	49	4 1/2	15,05
Le 28 idem.	59	4	18,08
Le 29 idem.	45	7	13,89
Le 30 idem.	55	4	16.87
Profondeur, fin septembre.	1.235	8 1/2	376,63

A ce niveau, l'on avait traversé tout l'étage permien (grès rouge), et l'on avait pénétré déjà dans des roches passant aux roches anciennes : la diorite venait d'être atteinte. Les éboulements étaient si considérables qu'ils remplissaient le trou de sonde sur 140 pieds de hauteur (42m.67), après chaque sortie de tiges ; mais comme on traversait toujours des diorites associées à des gneiss et à des quartzites, on voulut éviter les frais de tubage, tout en continuant à forer. C'est ainsi qu'à travers des éboulements considérables, on a poursuivi le forage proprement dit, jusqu'à la profondeur de 1.422 *pieds anglais* (433m,41) profondeur qu'on a atteinte le 15 *octobre*, après avoir traversé 6 *pieds* (1m,83) *de granite bien caractérisé*, ce qui devait mettre fin à l'exploration entreprise.

En effet, le Conseil d'administration de la compagnie de sondage, réuni en séance le 21 octobre, a décidé l'arrêt des travaux.

Depuis la profondeur de 1.200 pieds environ (365m,75), par suite de la nature résistante des roches, les carottes de

sondage avaient une longueur de plusieurs mètres, sans rupture, avec surface parfaitement polie. La collection de toutes les carottes extraites du sondage de Rheinfelden, qui doit être réunie au musée d'Aarau, formera un ensemble intéressant pour l'étude géologique des roches de la contrée.

En résumé, le sondage de Rheinfelden paraît avoir traversé les étages géologiques suivants :

	pieds.	mètres.
Grès bigarrés.	285	86,87
Terrain permien (grès rouge).	918	279,80
Roches passant aux roches cristallines (schistes micacés, sans diorite).	27	8,23
Diorites associées aux gneiss et aux quartzites.	186	56,69
Granite.	6	1,82
Profondeur totale.	1.422 soit	433,41

Tout ce travail a été fait en deux mois environ : il résulte des tableaux ci-dessus que le maximum de profondeur forée en 24 heures a été de 76 pieds 8 pouces, soit 23^{m},37, dans la journée du 26 septembre.

On voit en outre par les détails qui précèdent que, pendant ces deux mois, outre les 1.422 pieds (433^{m},41) de forage direct, il a fallu élargir et aléser le trou de sonde aux diamètres successifs de 7 pouces, 6 pouces et 5 pouces sur une longueur totale de 640 pieds (195^{m},07), ce qui a donné lieu à une longueur considérable de tubages.

Pour ce qui est de la dépense, je ne puis que rappeler que le sondage a été exécuté aux conditions générales de l'entreprise Schmidtmann et Cie, lesquelles ont été mentionnées déjà dans une communication de M. de Loriol au *Congrès de la Société de l'industrie minérale*, tenu à Saint-Étienne au mois de mai dernier.

Ces conditions sont les suivantes :

De 1 à 400m...	250f	par mètre, soit pour	400m...	100.000f
De 400 à 500m...	425f	idem.	500m...	152.500f
De 500 à 600m...	630f	par mètre, soit pour	600m...	215.500f
De 600 à 700m...	735f	idem.	700m...	289,800f
De 700 à 800m...	840f	idem.	800m...	373.000f

Au delà de 800 mètres, conventions particulières.

La compagnie pour le compte de laquelle le travail est exécuté, doit fournir les bâtiments, l'eau pour les pompes et la force motrice.

Elle doit, en outre, creuser un puits jusqu'à la roche dure, et payer les tubes qui seraient nécessaires pour le tubage du trou.

Paris, 26 octobre 1875.

ÉTUDES MÉTALLURGIQUES.

CHALEUR ABSORBÉE, AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES,

PAR

LES MATTES, LE CUIVRE, LE PLOMB ET DIVERSES SCORIES, EN FUSION.

Par M. L. GRUNER.

Dans le tome IV de la présente série des *Annales des mines*, j'ai fait connaître les résultats de quelques essais calorimétriques, entrepris sur les fontes, les aciers et les laitiers en fusion.

Depuis lors, j'ai étendu ce travail au verre, au cuivre rouge, aux mattes de cuivre, aux scories qui les accompagnent, etc. Je me suis servi du même calorimètre et des mêmes thermomètres que dans les premières expériences; la fusion fut également opérée, soit dans le four à pétrole, soit dans le four à gaz *Perrot-Wiesneg*.

Je rappellerai d'ailleurs que si m représente en grammes le poids de l'eau, y compris le vase transformé en eau, θ l'accroissement de température de l'eau et p le poids du corps en fusion, on a, pour le nombre de calories possédées par ce corps, l'expression $\frac{m\theta}{p}$.

Disons enfin que les substances sur lesquelles ont porté les nouvelles expériences, proviennent la plupart de la collection métallurgique de l'École des mines.

I. — Mattes.

N° 1. J'ai essayé d'abord, au four Perrot, la matte de

cuivre fournie par la fonte crue de l'usine d'*Atvida* en Suède. Elle est produite dans un demi-haut fourneau au coke, et renferme 20 à 22 p. 100 de cuivre, 7 à 8 p. 100 de zinc et 26 p. 100 de soufre.

Au rouge blanc ordinaire elle devient très-fluide, et dégage des fumées de zinc. Il faut trois quarts d'heure pour opérer la fusion. Au moment de la coulée, en filet mince, dans l'eau du calorimètre, il se dégage quelques rares bulles d'hydrogène sulfuré.

L'expérience a donné :

$$m = 18348 \text{ gr.}$$

$$p = 233 \text{ grammes}; \quad \theta = 3^{\circ},49; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 274^{\text{cal}},8.$$

N° 2. On a fondu, dans le même four à gaz, la matte *bronze*, provenant d'une usine à cuivre de *Swansea :* la fusion se fait en trente minutes, la matte est plus fusible et plus fluide que la précédente, le bain est très-brillant et ne fume pas. La teneur en cuivre est comprise entre 30 et 35 p. 100, celle du soufre entre 29 et 30 p. 100. La matte ne contient pas de zinc.

L'expérience a donné :

$$p = 85 \text{ grammes}; \quad \theta = 1^{\circ},30; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 280^{\text{cal}},6.$$

Dans une première expérience, en coulant un peu rapidement, il s'est produit une légère explosion.

N° 3. La matte de Swansea étant très-fusible, je l'ai essayée une seconde fois, en ne la chauffant que jusqu'au point de fusion. Il a suffi pour cela de vingt minutes de feu au four Perrot. On l'a coulée au moment même où elle commençait à se figer ; on a trouvé :

$$p = 81 \text{ grammes}; \quad \theta = 1^{\circ},02; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 231 \text{ cal.}$$

On voit que, dans la première expérience, la matte se trouvait chauffée bien au delà du point de fusion. Mais dans le traitement des minerais en grand, la température

est encore plus élevée à cause de l'état réfractaire des scories qui ne fondent qu'au four à pétrole.

N° 4. Matte du cuivre de *Schmöllnitz* (haute Hongrie). Elle provient d'un four à cuve au charbon de bois, et devient très-fluide comme celle de Swansea. Elle dégage des vapeurs de zinc, mais en proportion moindre que celle d'Atvida. On y trouve 25 à 30 p. 100 de cuivre.

L'essai a donné :

$$p = 150 \text{ grammes}; \quad \theta = 2°,19; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 267 \text{ cal.}$$

Au moment de la coulée, les bulles d'hydrogène sulfuré sont rares.

N° 5. Matte plombo-ferreuse provenant de la fonte crue au réverbère des minerais argentifères de Freyberg. L'échantillon vient de la collection rapportée par M. Carnot en 1863. C'est une matte de fer plombeuse plutôt qu'une matte de cuivre, car elle ne renferme que 4 p. 100 de cuivre contre 54 à 57 p. 100 de fer, 5 à 7 p. 100 de plomb, 2 à 3 p. 100 de zinc, etc. La proportion de soufre est de 25 p. 100.

La matte reste plus ou moins pâteuse et ne devient pas fluide et brillante comme les mattes cuivreuses. Elle fume à cause du zinc; coulée dans l'eau, elle donne des grumeaux noirs, et non des grenailles fines comme les mattes cuivreuses. Au moment de l'expérience, léger dégagement d'hydrogène sulfuré. Un premier essai a donné :

$$p = 92 \text{ grammes}; \quad \theta = 1°,20; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 239 \text{ cal.};$$

un second :

$$p = 98 \text{ grammes}; \quad \theta = 1°,01; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 237 \text{ cal.}$$

Moyenne. . . . . 238 cal.

On voit que les mattes plombo-ferreuses renferment, à température égale, moins de chaleur que les mattes ferro-cuivreuses, tout en étant moins fluides.

II. — Scories et laitiers.

J'ai fait, en second lieu, quelques essais sur les scories qui accompagnent les mattes précédentes. Il a fallu, pour cela, avoir recours au four à pétrole, qui chauffe les creusets jusqu'à vitrification, tandis que le four à gaz ne dépasse guère 1.250°, puisqu'on ne peut y fondre ni l'acier ni les laitiers.

N° 6. Scorie bisilicatée de la fonte crue d'Atvida (Suède). Elle contient 41 à 42 p. 100 de silice, pour 44 à 45 p. 100 de protoxyde de fer, et 6 p. 100 d'oxyde de zinc. Il faut trois quarts d'heure pour la fondre au four à pétrole. La température est d'un blanc éclatant, le creuset vitrifié. La scorie coule tranquillement et donne dans l'eau des grains vitreux d'un noir de jais.

L'essai conduit aux résultats suivants :

$$p = 136 \text{ grammes}; \quad \theta = 5^\circ{,}01; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 406^{\text{cal}}{,}1.$$

N° 7. On a essayé dans les mêmes conditions les scories porphyroïdes à grains de quartz, des mines de cuivre de Swansea. Ces scories renferment, d'après M. Le Play, 30 p. 100 de silice combinée, 30 à 31 p. 100 de quartz, et seulement 28 à 29 p. 100 d'oxyde de fer.

En les refondant au four à pétrole, les noyaux de quartz se combinent en partie aux bases, mais cependant il en reste encore sous forme de petits nodules isolés. En tous cas, la masse demeure très-visqueuse, s'étire en fils et a tous les caractères d'un silicate à grand excès de silice.

L'essai a donné :

$$p = 187^{\text{gr}}{,}5; \quad \theta = 4^\circ{,}16; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 408 \text{ cal.}$$

On voit, par ces deux exemples, que les scories ferrugineuses, tenant 40 à 60 p. 100 de silice, réclament autant de chaleur, pour leur fusion, que les laitiers des fontes de

forge et les scories manganésifères des fours Martin, qui demandent 412 à 415 calories d'après ma note de 1873.

Les essais suivants prouvent la grande fusibilité relative des protosilicates ferrugineux purs ou mêlés d'oxydes étrangers.

N° 8. Scorie noire cristalline du four Castillan de l'usine de la Pisc (Gard). C'est la scorie mentionnée dans le mémoire publié sur la métallurgie du plomb en 1868 (*Annales des mines*, tome XIII, page 367).

Elle renferme 30 à 36 p. 100 de silice; 35 à 40 p. 100 d'oxyde de fer; 15 à 20 p. 100 de chaux et 2 à 3 p. 100 d'oxyde de plomb, etc. Elle fond assez difficilement au four à gaz, et n'y devient pas très-fluide. L'essai a donné :

$$p = 90^{gr},5; \qquad \theta = 1^{\circ},60; \qquad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 326 \text{ cal.}$$

Les scories des fours de puddlage et de réchauffage exigent pour leur fusion des quantités de chaleur peu différentes. On les fond difficilement au four à gaz.

N° 9. Une scorie de puddlage de la forge de Sainte-Colombe, près Châtillon-sur-Seine, m'a donné :

$$p = 138 \text{ grammes}; \quad \theta = 2^{\circ},41; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 320 \text{ cal.}$$

Elle est peu fluide, ce qui tient à la présence du fer oxydulé en suspension dans le protosilicate. Par le refroidissement brusque dans l'eau, elle devient vitreuse et d'un noir de jais.

Rappelons ici que les scories de réchauffage de fer m'ont donné les chiffres voisins de 316 et de 319 calories aux températures où les silicates sont sur le point de se figer (n°s 29 et 30 de ma première note).

Lorsque la proportion de silice est au-dessous de 30 p. 100 et qu'outre l'oxyde de fer la scorie renferme d'autres bases, la fusibilité est plus grande encore.

N° 10. J'ai essayé au four à gaz la scorie accompagnant

la matte plombo-ferreuse, obtenue à Freyberg au reverbère. Elle est noire compacte, à structure semi-lamelleuse, formée de :

Silice.	28 à 32
Protoxyde de fer.	60 à 55
Oxyde de plomb.	2,5 à 3
Chaux.	3
Magnésie.	1
Etc., etc.	

Le four à gaz étant déjà chaud, la scorie a été fondue en vingt minutes, et coulait au rouge orange comme de l'eau. On a eu :

$$p = 95 \text{ grammes}; \quad \theta = 1^\circ,54; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 297 \text{ cal.}$$

N° 11. La scorie de l'usine de Holzappel (Nassau) réclame encore moins de chaleur. Elle fond facilement au four à gaz et devient aussi très-fluide au rouge orange. Dès que la masse commence à se ramollir, il s'en dégage d'abondantes vapeurs de zinc.

L'essai a donné :

$$p = 199 \text{ grammes}; \quad \theta = 2^\circ,98; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 274 \text{ cal.}$$

La scorie grenaillée sous l'action de l'eau devient vitreuse et d'un noir de jais comme dans les cas précédents (nos 8, 9 et 10). L'analyse faite au bureau d'essai de l'École des mines a donné :

Silice.	27,4
PbO.	2,4
ZnO.	11,7
Cu^2O.	0,9

Le reste est formé d'oxyde de fer et de 8 à 10 p. 100 de chaux.

N° 12. Revenons maintenant à des silicates plus acides, qui ne fondent qu'au four à pétrole. De ce nombre est le

laitier semi-pierreux ou vitreux, des usines à cuivre du Mansfeld, qui renferme :

Silice.	50 à 55
Chaux et magnésie.	25 à 30
Alumine.	10 à 15
Oxyde de fer (au plus).	8 à 9
Etc., etc.	

La masse fondue est visqueuse et s'étire en longs fils; on l'a coulée dans le calorimètre lorsque le laitier était sur le point de se figer. On a eu :

$$p = 46^{gr},5\,; \qquad \theta = 0^{\circ},90\,; \qquad \text{d'où}\ \frac{m\theta}{p} = 355\ \text{cal.}$$

On en peut conclure qu'au sortir des fourneaux ce silicate terreux devait retenir 380 à 400 calories. La masse grenaillée est vitreuse, d'un vert noir brillant.

N° 13. On a pu essayer par contre au four à gaz la scorie cristalline provenant de la fonte crue de Shmöllnitz qui a donné la matte n° 4. Elle ne fond cependant qu'au bout de deux heures de feu et n'est même alors qu'imparfaitement fluide. On n'a pas déterminé sa composition, mais sa manière d'être prouve qu'elle se rapproche des protosilicates à bases de fer, de chaux et d'alumine. C'est à l'alumine qu'est dû son état réfractaire.

L'essai a donné :

$$p = 46\ \text{grammes}\,; \quad \theta = 0^{\circ},96\,; \quad \text{d'où}\ \frac{m\theta}{p} = 385\ \text{cal.}$$

De mon travail précédent, sur la chaleur de fusion des laitiers, il semble résulter que les silicates possèdent rarement 500 calories au sortir des hauts fourneaux. Les deux expériences suivantes confirment pleinement ces conclusions.

N° 14. On sait que les minerais de fer de l'Aveyron sont très-alumineux et généralement considérés comme difficiles à fondre. Voici cependant un essai qui ne semble pas appuyer cette façon de voir. Un laitier blanc pierreux de

Decazeville fut essayé au four à pétrole. Au bout d'une heure de feu la masse se ramollit déjà, et avant deux heures elle devient très-fluide et coule facilement. Elle s'étire en fils très-courts et donne dans l'eau des globules vitreux, d'un brun noir foncé, à demi translucides. On a eu :

$$p = 73^{gr},5; \qquad \theta = 1^{\circ},60; \qquad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 399 \text{ cal.}$$

N° 15. Un laitier jaune olive manganèsifère, provenant des hauts fourneaux de Beaucaire qui traite pour fonte grise des minerais riches du midi de l'Europe et de l'Algérie, m'a donné, au four à pétrole chauffé au blanc éclatant, une masse très-fluide retenant 416 calories. Les données de l'essai sont :

$$p = 147 \text{ grammes}; \quad \theta = 3^{\circ}33; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 416 \text{ cal.}$$

A ces laitiers j'ai comparé le verre blanc ordinaire et le verre à bouteilles brun verdâtre.

N° 16. Le verre blanc ordinaire s'est fondu facilement au four à pétrole, et cela sans qu'il fût nécessaire de pousser la chaleur jusqu'au degré de vitrification du creuset. Au moment de la coulée, il était cependant encore visqueux. L'essai a donné :

$$p = 61^{gr},5; \qquad \theta = 1^{\circ},40; \qquad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 4\ 8 \text{ cal.}$$

N° 17. Le verre à bouteilles se boursoufle au feu et reste pâteux au moment de la coulée. On a eu :

$$p = 154 \text{ grammes}; \quad \theta = 3^{\circ},18; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 379 \text{ cal.}$$

C'est à peu près la température à laquelle le verre est soufflé, mais il faudrait une chaleur plus intense pour le rendre tout à fait fluide.

III. — Métaux divers.

Venons maintenant aux essais concernant les *métaux* en

fusion. Ils se rapportent à la fonte de fer, au cuivre et au plomb.

N° 18. J'ai fait trois essais sur la fonte grise compacte du haut fourneau de Beaucaire. Elle fond difficilement et laisse dans le creuset des carcasses abondantes de métal moins fusible, partiellement affiné. Les échantillons renferment 2 à 2,50 de manganèse et 0,80 à 1 p. 100 de silicium. Le fer est incomplétement carburé, ce qui explique la résistance à la fusion, que les puddleurs ont également constatée. Au moment de la coulée, le métal est peu fluide, malgré le maximum de température due au fourneau à gaz; la fonte se fige presque immédiatement.

Le premier essai a donné :

$$p = 55 \text{ grammes}; \quad \theta = 0^\circ{,}75; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 250 \text{ cal.};$$

le second :

$$p = 165 \text{ grammes}; \quad \theta = 2^\circ{,}26; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 251 \text{ cal.};$$

le troisième :

$$p = 120 \text{ grammes}; \quad \theta = 1^\circ{,}65; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 252 \text{ cal.};$$

d'où moyenne. . . . . 251 cal.

Et ce chiffre, il importe de le rappeler, correspond à de la fonte sur le point de se figer, tandis que la fonte grise ordinaire de Cleveland, d'après une note de 1873, ne retient dans les mêmes conditions que 244 calories, et les fontes blanches d'Eisenerz et de Longwy, carburées à saturation, seulement 226 à 228 calories. On voit, par ces exemples, combien la fusibilité des fontes de fer peut varier. La différence extrême est de 26 calories, ce qui correspond pour la chaleur spécifique de 0,20 des fontes blanches en fusion, à un excès de température de $\frac{16}{0{,}20} = 130^\circ$.

N° 19. Reprenant les carcasses abondantes des trois essais précédents, je les ai refondues au four à pétrole, afin de

constater les degrés relatifs de chaleur nécessaire. Le feu fut cependant poussé peu activement ; le creuset ne fut pas chauffé à vitrification. Par cette seconde fusion, à température plus élevée, les carcasses furent réduites à de minces pellicules de fer mal affiné, et il se forma en outre, au-dessus de la fonte, un peu de scorie noire, provenant de l'affinage des siliciures de fer et de manganèse. Au moment de la coulée, la fonte fut très-fluide et la température au rouge blanc intense ; le métal jetait quelques étincelles, et du calorimètre s'élevaient d'assez nombreuses bulles d'hydrogène. L'essai a donné :

$$p = 215 \text{ grammes}; \quad \theta = 3^\circ,18; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 271 \text{ cal.}$$

D'après les essais de 1873, cela équivaut à la chaleur que possèdent les fontes au sortir des cubilots ; c'est 20 calories ou 100° de plus que la chaleur fournie par le four à gaz, c'est-à-dire 1.300 à 1.350°.

N° 20. Pour comparer les températures et les chaleurs de fusion du cuivre et de la fonte, j'ai fondu à diverses reprises, au four à gaz, du cuivre rouge marchand. J'ai constaté que le cuivre réclame une température aussi élevée que la fonte grise ordinaire. Il fond plus lentement et à une température plus élevée que les fontes blanches miroitantes ; mais, une fois fondu, il est fluide et brillant comme ces dernières. Un premier essai, chauffé au maximum de température du four à gaz, m'a donné :

$$p = 70 \text{ grammes}; \quad \theta = 0,72; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 188 \text{ cal.};$$

un deuxième essai, à une température un peu moins élevée :

$$p = 175 \text{ grammes}; \quad \theta = 1^\circ,62; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 170 \text{ cal.};$$

un troisième, à une température peu supérieure au point de congélation :

$$p = 322 \text{ grammes}; \quad \theta = 2^\circ,93; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 167 \text{ cal.};$$

en sorte que le cuivre, sur le point de se figer, doit retenir 160 à 165 calories. Enfin, dans un dernier essai, j'ai chauffé le cuivre jusqu'au ramollissement, mais sans arriver à la fusion proprement dite. On a trouvé alors :

$$p = 423 \text{ grammes}; \quad \theta = 3^\circ{,}06; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 133 \text{ cal.},$$

ce qui donne pour la chaleur latente du cuivre rouge un chiffre voisin de 30 calories.

Je dois constater d'ailleurs que le cuivre rouge, comme les fontes blanches pures, passe assez brusquement de l'état fluide à l'état solide. Pour la chaleur latente des fontes blanches, j'avais trouvé 34 à 36 calories, chiffre un peu plus élevé que pour celle du cuivre, ce qui s'accorde avec la chaleur spécifique plus forte du fer.

De la chaleur que possède le cuivre au moment de sa solidification, on peut déduire sa chaleur spécifique moyenne à haute température. Les fontes blanches pures fondent entre 1.050 et 1.100°, les fontes grises vers 1.200°. On peut donc admettre que le cuivre rouge doit fondre, d'après ce qui précède, vers 1.150 à 1.200°, soit 1.175° en moyenne. Or, au moment d'entrer en fusion, le cuivre possède 133 calories; par suite la chaleur spécifique moyenne entre 0 et 1.175° serait de $\frac{133}{1.175} = 0{,}113$, tandis qu'à la température ordinaire elle est de 0,094. L'accroissement serait moins considérable que pour la fonte blanche qui passe, pour le même intervalle de température, de 0,130 à 0,178.

N° 21. J'ai fait une dernière expérience sur le plomb doux. On l'a chauffé au four à gaz jusqu'au rouge orange (1.100°), c'est-à-dire au delà du point de fusion des fontes blanches pures. La fusion était tranquille, sans vaporisation apparente bien sensible. L'essai a donné :

$$p = 231 \text{ grammes}; \quad \theta = 0^\circ{,}58; \quad \text{d'où } \frac{m\theta}{p} = 46 \text{ cal.}$$

On voit que le plomb fondu retient, aux mêmes températures, beaucoup moins de chaleur que le cuivre et surtout que la fonte de fer. Mais aussi la chaleur spécifique du plomb, au-dessous de 100°, est de 0,031 seulement, lorsque celle du cuivre est de 0,094, et celle de la fonte blanche de 0,130. Le plomb se rapproche, à cet égard, du platine qui, à l'état fondu, vers 1.900°, possède, d'après MM. Deville et Debray, au plus 100 calories (*), et dont la chaleur spécifique est de 0,0335 entre 0° et 100°, et de 0,0398 seulement entre 1.500 et 1.600 d'après Pouillet (**). On voit aussi que la chaleur *latente* du plomb doit être très-faible, puisque, même en ne comptant que 0,035 pour la chaleur spécifique moyenne du plomb fondu à haute température, on ne trouve à 1.100° que $1.100 \times 0{,}035 = 38^{cal},5$, ce qui ne laisserait pour la chaleur latente que $46 - 38{,}5 = 7^{cal},5$.

En tous cas, quoi qu'il en soit à cet égard, on peut affirmer que le plomb fondu, lorsqu'il s'échappe au rouge intense des fours de fusion, ne possède jamais au delà de 50 calories.

IV. — Conclusions.

En résumé, si l'on rapproche ces données nouvelles de celles que j'ai constatées dans mon premier travail, on pourra conclure :

	calories.
1° Que les laitiers les moins fusibles ne doivent pas retenir, à la sortie des hauts fourneaux, au delà de.	500
et que la plupart n'en possèdent guère plus de. . .	450
Que les laitiers de Givors, Decazeville, Beaucaire, etc., fondent même facilement avec une dose de chaleur comprise entre.	400 et 450
2° Que le verre blanc exige, pour être soufflé.	415 à 420
et le verre à bouteilles.	380 à 400
3° Que les scories siliceuses, à base de manganèse et	

(*) *Comptes rendus*, tome LVI, p. 199 et 324.
(**) *Idem.* tome III, p. 786.

calories.

de fer, des fours Martin réclament, pour se fondre. 410 à 415
et les scories bi ou trisilicatées des fontes *crues* des minerais de cuivre. . . . . 405 à 410

4° Que les scories bisilicatées à *plusieurs* bases, comme celles des fours du Mansfeld et de Schmöllnitz, n'exigent pour leur fusion que. 355
mais possèdent, en général, au sortir des fourneaux. 380 à 400

5° Que les scories des forges de fer et celles des usines à plomb, tenant plus de 30 p. 100 de silice, absorbent. . . . . 320 à 330
tandis que celles dont la proportion de silice descend au-dessous de 28 p. 100, et qui renferment plusieurs bases, mais non du fer oxydulé, fondent déjà avec. . . . . 275 à 300

6° Que les fontes de fer pures et convenablement carburées fondent dès que l'on atteint. . . . . 225 à 230
tandis que les fontes siliceuses peu carburées en exigent. 250

7° Que le cuivre rouge fond, comme les fontes grises, vers 1.150 à 1.200°, mais ne demande pas au delà de. 160 à 165
que sa chaleur latente est d'environ. 30

8° Que les mattes ferro-cuivreuses réclament pour leur fusion. . . . . 230 à 240
mais possèdent, en général, à la sortie des fourneaux. . . . . 270 à 280
Que les mattes plombo-ferreuses absorbent, aux mêmes températures, 35 à 40 calories de moins, et restent toujours plus ou moins pâteuses.

9° Que le plomb, comme le platine, a une chaleur spécifique très-peu élevée ; qu'il retient, au maximum, vers 1.100 à 1.200°. 50

ÉTUDES MÉTALLURGIQUES.

DE L'UTILISATION DE LA CHALEUR

DANS

LES FOURNEAUX DES USINES MÉTALLURGIQUES

Par M. L. GRUNER.

On sait déjà, d'une manière générale, que dans un grand nombre d'opérations métallurgiques on n'utilise qu'une faible fraction de la chaleur dépensée ; mais aucun travail d'ensemble, que je sache, n'a été entrepris sur ce sujet : on n'a pas comparé les effets utiles réalisés dans divers fourneaux servant à la même opération. C'est cette comparaison qu'il m'a paru utile de tenter. Les difficultés sont grandes et les causes d'erreur nombreuses ; aussi ne doit-on considérer cet essai que comme une première tentative propre à montrer les avantages qui résulteraient d'un travail plus complet. Il serait utile de connaître, d'une façon précise, quels sont les avantages et les défauts des principaux fourneaux, au point de vue de l'économie du combustible dépensé.

Remarquons d'abord que, si l'on veut établir entre les divers fourneaux une comparaison rationnelle, il faut choisir une opération *simple*, où la question calorifique ne vienne pas se compliquer de réactions diverses. On ne peut donc choisir ni des opérations *oxydantes*, qui presque toujours dégagent de la chaleur, ni des fusions *réductives*, qui en absorbent. L'opération la plus simple est la *fusion* proprement dite, quoique là aussi il y ait souvent des réactions accessoires, qui compliquent quelque peu le fait de

la simple fusion. C'est une cause d'erreur inévitable, mais comme elle agit dans le même sens, n'importe le fourneau dans lequel se fait la fusion, les résultats n'en demeurent pas moins sensiblement comparables. J'ai donc cherché à déterminer l'effet utile des divers fourneaux appliqués, autant que possible, à la simple fusion d'un métal ou d'un silicate.

Observons, en second lieu, que la chaleur dépensée peut être évaluée à un double point de vue. Lorsque le combustible est du charbon de bois ou du coke, le carbone peut être transformé en acide carbonique ou en oxyde de carbone; dans le premier cas, le carbone développe 8.080 calories, dans le second seulement 2.473 calories. Or, s'il s'agit de fixer simplement le rapport entre la chaleur *utilisée* et la chaleur *totale* que le combustible consommé *peut* développer, on prendra, comme pouvoir calorifique du carbone, le chiffre de 8.080 calories. Mais si, au contraire, on veut déterminer le rapport de la chaleur utilisée à la chaleur *réellement produite* dans le fourneau, il faudra rechercher d'abord, dans les produits de la combustion, les quantités relatives de CO^2 et de CO et en déduire le nombre de calories positivement *engendrées* dans l'appareil de combustion. Ce mode d'estimation est le seul exact, car il ne s'agit pas ici de la chaleur *virtuelle*, mais de la chaleur *réelle*. L'oxyde de carbone est partout, en effet, considéré aujourd'hui, dans les usines, comme un véritable combustible, qui ne dégage de la chaleur que par sa combustion en CO^2.

Ainsi, dans un haut fourneau, chaque kilogramme de carbone développe, non 8.080 calories, mais 3.854, 3.816, 3.621, 3.593, 3.245 calories, selon son allure plus ou moins économique (*).

Si donc on veut connaître la chaleur perdue par cet ap-

(*) Études sur les hauts fourneaux (tableau de la page 66), *Annales des mines* de 1872, t. II.

pareil, il faut prendre, comme chaleur produite par unité de carbone consommé, non 8.080 calories, mais les chiffres

3.854, 3.816, 3.621, 3.593, 3.245 calories,

ci-dessus cités, qui correspondent aux mélanges variés de CO^2 et de CO fournis par le gueulard desdits hauts fourneaux.

On voit, par cet exemple, combien on est exposé à se tromper, au sujet de la chaleur réellement utilisée, si l'on n'a pas égard à la nature complexe des produits de la combustion. Malheureusement ce mélange de CO^2 et de CO n'est pas toujours connu; je n'ai donc pu calculer, dans tous les cas, bien exactement la chaleur produite. A l'avenir on pourra y suppléer, en se servant de l'appareil si simple de M. Orsat.

Les principaux fourneaux des usines métallurgiques sont : le four à vent, le bas foyer, le four à réverbère, les fours à dôme ou à galères et les fours à cuve.

Ce sont ces divers fourneaux dont j'ai cherché à apprécier la valeur, au point de vue du combustible consommé, pour la fusion des métaux et des silicates. Je vais successivement les passer en revue.

Fusion en creusets dans un four à vent. — Le four à vent sert pour la fusion de la plupart des métaux et surtout pour celle de l'acier. L'acier ordinaire, fondu par charges de 20 à 25 kilog. par creuset, exige 300 p. 100 de coke de bonne qualité, soit pour le moins 250 p. 100 de carbone pur, en réunissant quatre creusets dans un même four. Ainsi, par kilogramme d'acier, on consomme

$$8.080 \times 2,5 = 20.200 \text{ calories},$$

dans la supposition que tout le carbone soit transformé en CO^2. Or, les essais calorimétriques m'ont donné, au maximum, pour l'acier fondu, 350 calories (*), soit à peine

(*) *Annales des mines*, 1873, t. IV.

1,7 p. 100 de la chaleur dépensée! Mais, dans les fours à vent, le carbone se transforme en partie en oxyde de carbone. La chaleur réellement produite est par suite notablement moindre; malheureusement on ne peut l'évaluer, faute d'analyses spéciales des gaz de la combustion. Mais si nous admettons que la moitié seulement du carbone soit transformé en CO, on aurait 5.276 calories par kilogramme de carbone au lieu de 8.080, ce qui donnerait, comme chaleur engendrée, 5.276 × 2,5 = 13.190 calories, et par suite, comme effet utile, 2,6 p. 100. On voit donc que, même dans la supposition la plus favorable, la fusion, dans un four à vent, n'utilise guère plus de 3 à 4 p. 100 de la chaleur dépensée, et en tous cas moins de 2 p. 100 du pouvoir calorifique total du combustible consommé.

Fusion en creusets dans un réverbère. — Dans les aciéries d'Assailly, près de Rive-de-Gier, on fond l'acier, depuis vingt ans, dans des creusets placés, au nombre de neuf, sur la sole d'un petit réverbère soufflé. Par 100 kilog. d'acier, moyennement carburé, on consomme 260 à 280 kilog. de houille ordinaire, ou environ 220 à 240 kilog. de houille pure, privée de cendres, dont le pouvoir calorifique peut être estimé à 8.000 calories. Pour le cas de combustion *totale*, on aurait donc, comme chaleur dépensée, 8.000 × 2,3 = 18.400 calories, ce qui, rapproché des 350 calories nécessaires, ne donne encore qu'un effet utile de 2 p. 100; et, en tout cas, le rendement *réel* ne saurait être supérieur à 3 p. 100, parce que la combustion est beaucoup plus complète dans un foyer soufflé à grille que dans un four à vent. Malgré cela, comme le prix du coke est au moins le double de celui de la houille menue, les avantages du reverbère sur le four à vent sont incontestables.

Fusion en creusets dans un four Siemens. — A Firminy, chez M. Holtzer, et dans un grand nombre d'autres aciéries, on place aujourd'hui les creusets, pour la fusion de l'acier, au nombre de douze ou de dix-huit, sur la sole

plane d'un Siemens peu large. La consommation est réduite, dans ce cas, à 180 p. 100 de houille ordinaire, soit environ 150 de houille pure. Dans les Siemens, la combustion est *totale;* on a par suite, pour la houille, 8.000 calories, et, comme chaleur dégagée par kilogramme d'acier, 8.000 × 1,5 = 12.000 calories, ce qui donnerait 3 p. 100 d'effet utile.

D'après une récente communication de M. Boistel, la consommation descendrait même souvent à 125 kilog. de houille pure par 100 d'acier, ce qui ramènerait la chaleur dégagée à 8.000 × 1,25 = 10.000 calories, et ferait monter l'effet utile à 3,5 p. 100.

Fusion du verre en pots dans les fours à galères et dans les Siemens. — Le verre est fondu dans de grands pots tenant chacun 500 à 600 kilog.; on réunit ces vases, dans un même four, au nombre de dix ou douze. A Rive-de-Gier, on consomme pour le verre blanc, dans les anciens fours à galères, $2^k,166$ de houille menue par kilogramme de verre, et, dans les Siemens, $1^k,100$ (*).

C'est, dans le premier cas, en tenant compte des cendres, 14.000 à 15.000 calories; dans le second, 7.500 à 8.000 calories.

Or la chaleur possédée par le verre blanc fondu est d'environ 420 calories, et comme la combustion est à peu près totale dans les deux cas, on a, dans les fours *à galères*, un effet utile de 3 p. 100, et dans les *Siemens* de 5,5 à 6 p. 100. C'est notablement plus que dans les aciéries, à cause des masses plus grandes sur lesquelles on opère, eu égard à l'étendue des parois chauffées.

Lorsque les pots sont couverts, comme dans les cristalleries, la consommation est nécessairement plus élevée.

(*) Renseignements communiqués par M. Hütter, directeur des verreries de Rive-de-Gier, en mai 1875.

A Rive-de-Gier, dans les fours à galères pour gobeletterie, on consomme $2^k,45$ à $2^k,60$ de houille au lieu de $2^k,166$.

Fusion directe de la fonte, de l'acier et du verre sur sole. — La fusion en vase clos est peu économique; les vases absorbent de la chaleur, et le volume des fours est grand, comparé au poids de la matière à fondre. Ces motifs ont conduit à la fusion directe sur sole. Depuis longtemps, au reste, on fond dans de grands réverbères le métal à canons et le bronze pour cloches; plus tard, les mêmes fours ont été appliqués à la fusion des mattes, du cuivre rouge et de la fonte de fer, et tout récemment à celle de l'acier et du verre. Comparons les effets utiles ainsi réalisés à ceux de la fusion en vases clos.

Lorsque la fusion de la fonte grise se fait d'une façon continue, en rechargeant les réverbères dès que la coulée antérieure est terminée, on consomme en général 50 p. 100 de houille; par suite, en y admettant 10 p. 100 de cendres, c'est $0^k,45$ par kilog. de fonte ou 3.600 calories. Or, la chaleur nécessaire est de 280 à 300 calories, soit 8 p. 100 comme effet utile. Dans un travail discontinu, où le four est réchauffé à chaque opération, la consommation s'élève à 80 et même à 100 p. 100, ce qui réduit l'effet utile à 4 ou 5 p. 100.

A Terre-Noire, où la fonte est fondue sans interruption dans un *Siemens*, on ne brûle que 20 p. 100 de houille; et dans les aciéries et forges de Saint-Étienne, où le même travail se fait, pour l'affinage Bessemer, dans un four *Ponsard*, on ne consomme également pas au delà de 19 à 20 p. 100. Ainsi, par kilogramme de fonte, il faut $0^k,18$ de houille pure, ou $8.000 \times 0,18 = 1.440$ calories, ce qui fait monter l'effet utile à 20 p. 100,

Dans les Siemens-Martin, l'acier n'est pas simplement fondu, mais directement *produit* par l'affinage prolongé d'un mélange varié de fer et de fonte. La consommation se trouve ainsi notablement accrue, et, malgré cela, on ne

brûle à Terre-Noire que 50 à 52 p. 100 de houille, soit 0k,46 par kilogramme d'acier, ou 8.000 × 0,46 = 3.680 calories, contre 350 calories nécessaires; c'est 9,5 p. 100 d'effet utile, tandis qu'au creuset, dans un Siemens, on arrive au maximum, d'après ce qui précède, à 3,5 p. 100. Observons d'ailleurs que s'il s'agissait d'une simple fusion, l'effet utile serait certainement d'au moins 15 p. 100, puisqu'il est de 20 p. 100 dans le cas de la fonte, qui ne réclame pour sa fusion que 50 à 70 calories de moins que l'acier.

Depuis quelques années, on fond aussi le verre directement sur sole dans plusieurs verreries du Hanovre et de la Saxe. C'est du verre de bouteilles qui exige, par kilogramme de verre, 0k,80 de houille au lieu de 1k,666, que l'on brûle, d'après M. Hütter, dans les fours à galères. Par suite, l'effet utile est plus que double : il atteint 7 p. 100, car la chaleur nécessaire est de 400 calories, et la chaleur dépensée, en admettant 10 p. 100 de matières étrangères dans la houille, de 8.000 × 0,72 = 5.760 calories.

Rappelons qu'en se servant de pots et de fours à galères, on utilise seulement 3 p. 100 de la chaleur dépensée.

Fonte crues des minerais de cuivre et d'argent dans les réverbères. — Dans les fontes crues ou fontes pour mattes, il s'agit essentiellement de fondre un mélange de sulfures et de silicates. Il se produit bien, au moment de la fusion, un certain nombre de réactions accessoires, telles que l'oxydation directe par l'air, la décomposition réciproque des sulfures par les oxydes, le dégagement de l'acide sulfureux, etc., mais les réactions calorifiques qui en résultent sont peu importantes, eu égard aux calories que réclame la fusion. On peut les négliger.

La fonte pour matte-bronze, dans les usines à cuivre de Swansea, consomme par kilogramme de lit de fusion 0k,60 de houille menue, ou 0k,55 de matière combustible pure, soit

$$8.000 \times 0,55 = 4.400 \text{ calories.}$$

Or, chaque kilogramme de lit de fusion produit :

$0^k,246$ de mattes, qui absorbent, à 280 cal. par kilog.	69 calories,
et $0^k,635$ de scories, à 408 cal.	259 —
ce qui donne, comme chaleur utilisée, un total de. . .	328 calories,

soit 7,5 p. 100 de la chaleur dépensée.

A Freyberg, le four à réverbère fut aussi employé, pendant quelque temps, pour la fusion des minerais sulfurés. On consommait alors $0^k,50$ de houille ou $0^k,45$ de combustible par kilogramme de matières chargées.

La chaleur dépensée était par suite de :

$$8.000 \times 0,45 = 3.600 \text{ calories.}$$

D'autre part, les produits fondus retenaient :

dans $0^k,23$ de mattes, à 250 cal. par kilog.	57 calories
et dans $0^k,77$ de scories, à 325 cal.	250 —
soit ensemble.	307 calories

formant 8,5 p. 100 de la chaleur dépensée.

Ainsi, en résumé, les réverbères *ordinaires*, appliqués à la fusion directe sur sole, utilisent au maximum 8 à 9 p. 100 de la chaleur dépensée, tandis que les fours Siemens et Ponsard peuvent réaliser dans les mêmes conditions, jusqu'à 20 p. 100. Nous verrons bientôt que les fours à *cuve* sont pour la fusion, au point de vue de l'économie du combustible, de beaucoup supérieurs aux fours à réverbère. Mais avant de nous occuper de cette dernière catégorie de fours, citons encore le petit réverbère en calcaire de M. H. Deville, dans lequel, sous la direction de M. Tresca, on a fondu, l'hiver dernier au conservatoire des Arts et Métiers, les 250 kilog. de platine iridié, destiné aux mètres-types internationaux. Ce fourneau se composait d'un bloc de calcaire grossier, dans lequel on avait creusé un bassin allongé, ayant à peu près les dimensions d'un saumon de plomb de $0^m,60$ à $0^m,75$ de longueur. Sur ce premier bloc

s'en trouvait placé un second d'égales dimensions, légèrement creusé en voûte cylindrique, au-dessus du bassin. Sept chalumeaux annulaires, implantés verticalement dans le bloc supérieur, suivant l'axe du four, injectaient de l'oxygène pur, à la pression de 0^m,20 de mercure, par le centre des chalumeaux et du gaz d'éclairage par l'espace annulaire extérieur.

L'appareil ainsi disposé a pu fondre les 250 kilog. de platine en une heure et quart, quoique à l'origine le fourneau fût complétement froid, et l'on n'a dépensé pour cette opération que 24 mètres cubes de gaz d'éclairage, dont le pouvoir calorifique est de 7.500 calories par mètre cube. On a donc engendré $7.500 \times 24 = 180.000$ calories.

D'autre part le platine n'exige, pour se fondre vers 1.900°, que 100 calories (*) par kilogramme, soit 25.000 calories en tout, ce qui conduit à un effet utile de 14 p. 100, chiffre relativement élevé lorsqu'on songe que le petit fourneau était complétement froid et que, sur une épaisseur de 0^m,02 à 0^m,03, le carbonate de chaux avait été transformé en chaux vive par une partie de la chaleur dépensée.

Ajoutons encore que l'appareil *Bessemer* utilise à peu près la même proportion de chaleur, ou le moins 11 à 12 p. 100.

J'ai montré, dans mon précédent travail, que l'acier gagne 30 calories par l'affinage Bessemer. Or, la chaleur dépensée provient de la combustion du silicium, du carbone et d'une certaine dose de manganèse et de fer.

Le carbone est transformé, en grande partie, en oxyde de carbone, le silicium en acide silicique, les métaux en protoxydes.

On peut admettre, en moyenne, les chiffres suivants :

(*) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 199 et 324.

0k,015 de silicium à 7.830 cal.	117 cal.
0 ,030 de carbone à 2.473.	74 —
0 ,050 de fer et de manganèse à 1.358.	68 —
Total.	259 cal.

Ainsi sur 259 cal. on en utilise 30, soit 11 à 12 p. 100; le reste se perd par le gaz et les parois de l'appareil.

Réchauffage du fer ou de l'acier dans les réverbères. — Avant de quitter les réverbères, citons encore les simples fours de *réchauffage* et de *soudage* des forges à fer.

Dans les réverbères *ordinaires*, le réchauffage des barres de fer au rouge orange (1.100°), consomme en général 40 à 50 p. 100 de houille et 30 p. 100 dans les cas les plus favorables. C'est par suite, par kilogramme de fer, suivant ces divers cas, une dépense de chaleur de :

$$0,50 \times 7.000 = 3.500 \text{ calories } (*)$$
$$0,40 \times 7.000 = 2.800 \quad —$$
$$0,30 \times 7.000 = 2.400 \quad —$$

en admettant que la combustion ait été complète; tandis que la chaleur utilisée est de 200 à 210 calories (**), soit de 6 à 10 p. 100.

Dans les fours allongés et légèrement inclinés de Bochum en Westphalie, où les lingots d'acier avancent graduellement du rampant vers le pont, sur une longueur de 8 à 10 mètres, on ne consomme par contre que 17 p. 100 de houille ; soit, par kilogramme d'acier, une dépense maximum de $7.000 \times 0,17 = 1.190$ calories, contre 180 à 200 calories utilisées, ce qui fait 15 à 17 p. 100 d'effet utile.

A Seraing, dans un four Ponsard, on ne consomme également, pour le même travail, que 18 à 20 p. 100 de houille, ce qui correspond à un effet d'environ 15 p. 100.

Fusion dans les fours à cuve. — Dans les modes de

(*) Je compte 7.000 au lieu de 8.000 calories, à cause des 10 à 15 p. 100 de cendres.

(**) *Annales des mines*, 1873 t. IV, p. 243.

fusion mentionnés jusqu'à présent, le combustible est plus ou moins séparé de la matière à fondre, à l'exception de la cornue Bessemer. Ce sont des conditions peu favorables. On utilise mieux la chaleur dégagée lorsque la substance, qu'il s'agit de chauffer, est directement enveloppée par le combustible; c'est le cas des *fours à cuve.* Mais alors si l'on veut comparer la chaleur utilisée à la chaleur réellement *engendrée*, il faut tenir compte du carbone brûlé sous forme d'oxyde de carbone. C'est dans ces fourneaux surtout que la combustion est toujours incomplète, comme je l'ai observé déjà, en rappelant ce qui se passe dans les hauts fourneaux.

Mais tous les fours à cuve ne sont pas également économiques, la chaleur n'y est bien utilisée que si les produits de la combustion quittent le fourneau à une faible température, si la zone où s'opère la combustion est peu étendue, si enfin, pour une capacité donnée, la marche de l'opération est rapide. Il faut donc en général, des fourneaux élevés, des cuves plus ou moins rétrécies au niveau des tuyères, et un vent d'une certaine abondance. Quelques exemples vont nous permettre d'apprécier la portée de ces observations.

Prenons, comme premier exemple, les cubilots des fonderies de fer.

Les anciens cubilots étaient cylindriques et n'avaient que 2 mètres à $2^{m},50$ de hauteur. Des buses de faibles dimensions injectaient un volume insuffisant de vent. On ne fondait que 1.000 kilog. par heure, et l'on consommait 20 à 30 p. 100 de coke. Les gaz s'échappaient chauds et flambaient au gueulard.

On accrut d'abord leur hauteur et le volume du vent, mais le profil demeura cylindrique. On peut classer parmi les anciens cubilots celui de Vienne, que mentionne Ebelmen dans la quatrième série des *Annales des mines*, tome V, p. 60. Sa hauteur était de $3^{m},10$; on y fondait 1.000 kilog.

par heure, en consommant 18 à 20 p. 100 de coke. La température des gaz était de 600°.

Cherchons à déterminer l'effet utile de cet appareil. La consommation moyenne est de 19 p. 100, ce qui donne, en admettant dans le coke 10 à 11 p. 100 de cendres, $0^k,17$ de carbone par kilogramme de fonte, c'est-à-dire $8.080 \times 0,17 = 1.373$ calories disponibles.

Mais, à la chaleur fournie par le carbone, il faut ajouter celle qui provient de l'oxydation du fer et du silicium. Ebelmen indique comme déchet total 8 à 9 p. 100. C'est beaucoup. En réalité, le déchet dû à l'oxydation proprement dite ne peut dépasser 4,5 p. 100, comprenant 4 p. 100 de fer et 0,5 p. 100 de silicium.

Ces deux éléments apportent par kilogramme de fonte:

Le silicium.	7.830×0.005	$= 39^{cal.},6$
Le fer, transformé en protoxyde. . .	$1.358 \times 0,04$	$= 50^{cal.},3$
	Total.	$89^{cal.},9$

La chaleur totale *disponible* était par suite de 1.463 calories. Or, la fusion de la fonte absorbe 275 calories (*), formant 18,8 p. 100 de la chaleur totale *disponible*. Mais comme il s'est formé de l'oxyde de carbone, les 1.463 calories n'ont pas été réellement *engendrées* dans l'intérieur du cubilot. J'ai montré, dans mes études sur les hauts fourneaux, comment on pouvait calculer la chaleur *produite* par le carbone, dès qu'à l'aide de l'appareil Orsat, ou par une analyse complète, on a déterminé, dans les gaz du gueulard, le rapport $\frac{CO^2}{CO}$. Je vais rappeler en peu de mots la méthode suivie.

Si *m* représente le rapport $\frac{CO^2}{CO}$, *c* le carbone brûlé par

(*) *Annales des mines*, 1873, t. IV, p. 224.

kilogramme de matière fondue, et x le poids de l'oxyde de carbone, on a :

$$\frac{3}{7}x + \frac{3}{11}mx = c,$$

$\frac{3}{7}x$ et $\frac{3}{11}mx$ étant les quantités de carbone contenues dans l'oxyde de carbone et l'acide carbonique.

On en déduit :

$$x = \frac{77 \cdot c}{33 + 21m},$$

ce qui permet de calculer le nombre de calories que peut encore développer l'oxyde de carbone, et, par suite, la chaleur réellement engendrée par le carbone c, brûlé, dans le cubilot, en x oxyde de carbone et mx acide carbonique.

A l'aide de ces données, on peut déterminer aussi le poids des gaz brûlés par kilogramme de matière fondue, et par conséquent le nombre des calories emportées par les gaz sous forme de chaleur sensible.

L'oxygène contenu dans l'oxyde de carbone et l'acide carbonique est donné par l'expression

$$\frac{4}{7}x + \frac{8}{11}mx,$$

et le poids de l'azote par

$$a = 3{,}33\left(\frac{4}{7}x + \frac{8}{11}mx\right),$$

ou, plus exactement par a, plus l'azote correspondant à l'oxygène absorbé par le fer et le silicium, qui sont scorifiés lors de la refonte au cubilot.

En désignant par f et s les poids de ces deux corps, on aura pour l'oxygène correspondant, d'après les poids atomiques,

$$\frac{2}{7}f + \frac{8}{7}s,$$

et pour l'azote qui accompagnait cet oxygène,

$$\frac{3,33}{7}(2f + 8s).$$

Appliquons cette marche au cubilot de Vienne (Isère). D'après Ebelmen, les gaz se composaient au volume de :

CO^2	11,65
CO.	14,16
H.	0,83
Az.	73,36
	100,00

ou en poids, en négligeant l'hydrogène, de :

CO^2	17,2
CO.	13,3
Az.	69,5
	100,0

On en déduit : $m = \frac{172}{133}$; d'où, par kilog. de fonte,

CO ou $x = 0^k,217$	$0^k,217$
CO^2 ou $mx = 0^k,281$	$0^k,281$
a (azote de l'air) $= 1^k,136$ et $\frac{3,33}{7}(2.f + 8.s.) = 0^k,057$ } azote total. . .	$1^k,193$
ce qui donne comme poids total des gaz par kilog. de fonte.	$1^k,691$

Nous pouvons en déduire la chaleur sensible emportée par les gaz, et la chaleur que peut développer l'oxyde de carbone.

Cette dernière est égale à

$$2.403 \times 0,217 = 521 \text{ calories},$$

d'où l'on déduit, comme chaleur réellement *engendrée* dans le cubilot,

$$1.463 - 521 = 942 \text{ calories}.$$

Or la chaleur absorbée par la fonte est de 275 calories, cor-

respondant, comme effet utile réel, à 29,2 p. 100 de la chaleur engendrée.

Le reste de la chaleur se perd par les gaz et les parois, sauf une faible fraction prise par les scories, qui n'absorbent guère plus de 15 à 20 calories.

Or, on peut, comme je viens de le dire, calculer la chaleur *sensible* des gaz, car nous connaissons leur température et leur poids.

En multipliant x, mx, ainsi que l'azote, par les chaleurs spécifiques respectives 0,226, 0,217 et 0,244 de ces gaz, on trouve, par chaque degré, pour les $1^{k},691$, $0,^{cal.}401$; par suite, pour les 600°, 240 calories.

La chaleur *produite* se répartit donc ainsi :

	PAR kilogramme de fonte.	PAR 100 calories.
	calories.	
Chaleur *utilisée*	275	29,2
Chaleur *sensible* des gaz	240	25,5
Chaleur *perdue* (par les parois et les scories)	427	45,3
Chaleur *produite*	942	100,0

On voit que la perte par les parois est encore forte, ce qui provient, comme nous le verrons bientôt, de la lenteur de l'opération, eu égard aux dimensions des parois du four; et pourtant, même dans ces conditions défavorables, le cubilot utilise mieux la chaleur que les réverbères les plus perfectionnés. En augmentant la hauteur des cubilots, on réduirait d'ailleurs la perte provenant de la chaleur propre des gaz.

La chaleur *totale* se répartit enfin de la façon suivante :

		PAR kilogramme de fonte.	PAR 100 calories.
		calories.	
Chaleur *utilisée*		275	18,8
Chaleur qui reste encore *disponible*.	Chaleur sensible des gaz	240	16,4
	Chaleur que peut développer CO.	521	35,6
Chaleur *perdue* par les parois (y compris 15 à 20 calories prises par les scories)		427	29,2
Chaleur *totale*		1.463	100,0

Il suit de là que si l'on ne peut utiliser ni l'oxyde de carbone ni la chaleur propre des gaz, on ne profite en réalité, dans le cubilot en question, que des 18,8 p. 100 du combustible dépensé. Il y a donc tout intérêt à le modifier dans le sens ci-dessus mentionné.

Les cubilots anciens, comme celui de Vienne, consomment encore beaucoup de combustible parce que leur marche est trop lente, leur hauteur trop faible et la section de l'appareil dans la zone de combustion trop vaste. Ces défauts ont été corrigés, il y a plusieurs années déjà, en France, dans les ateliers de la marine, à Nevers, par le colonel Maillard, en Angleterre et en Allemagne, en adoptant un type analogue proposé par M. Ireland (*). La hauteur totale a été portée à $4^m,50$ et 6 mètres, la production par heure à 3 ou 4 tonnes; le diamètre au niveau des tuyères fut, par contre, réduit à $0^m,90$ ou $0^m,80$.

Dans ces conditions on ne consomme plus que 6 à 7 kilog. de coke par 100 kilog. de fonte, en négligeant, bien entendu, le combustible brûlé lors de la mise en feu. D'autre part, le déchet réel par oxydation ne dépasse pas 4 p. 100. Or il est facile de voir que l'effet utile s'élève alors à 48 p. 100 de la chaleur *totale* que peut fournir le combustible, et, par suite, à plus de 50 p. 100 de la chaleur *engendrée* dans le fourneau même.

Par kilogramme de fonte refondue, la chaleur disponible comprend :

Par le carbone brûlé. . . .	8.080 × 0,06	= 485	calories.
Par le silicium oxydé. . . .	7.830 × 0,005 =	39,6	—
Par le fer transformé en protoxyde. . . .	1.358 × 3,5	= 47,5	—
Total.		572,1	calories.
Or, la chaleur utilisée est de.		275	—
ce qui ramène la perte à.		297,1	—
ou 52 p. 100.			

(*) *Bulletin de l'industrie minérale*, 1re série, t. IV.

Nous n'avons pas ici, pour la répartition de cette chaleur perdue, les ressources fournies par l'analyse des gaz. Mais on peut remarquer que le poids des gaz est à peu près proportionnel au carbone brûlé, qui est ici trois fois moindre que dans l'exemple précédent; en outre, leur température est plus faible à cause de la plus grande hauteur du cubilot. La chaleur *sensible* des gaz ne peut donc guère excéder 80 calories. De même la chaleur perdue par les parois doit être à peu près réduite au tiers, puisque la fusion est trois fois plus rapide; ce serait donc 150 calories au lieu de 427. Enfin les gaz renferment d'autant moins d'oxyde de carbone que le poids du coke est moindre comparé à la masse des matières fondues. Dans le cas présent il est certainement en dose très-faible, puisqu'il ne reste qu'environ $297{,}1 - (80 + 150) = 67{,}1$ calories pour la chaleur que pourrait encore fournir la combustion de l'oxyde de carbone. Ces considérations montrent combien l'appareil *Orsat* serait ici utile pour rectifier, par la détermination du rapport $\frac{CO^2}{CO}$, les appréciations un peu vagues auxquelles je viens de me livrer. Par le poids de l'oxyde de carbone, on trouverait le nombre des calories à retrancher du total 572,1, ce qui laisserait celui des calories *engendrées* dans le cubilot même.

En tous cas, on voit que les cubilots modernes consomment beaucoup moins de combustible pour la fusion des métaux que les réverbères Siemens les plus perfectionnés; ils utilisent au delà de 50 p. 100 de la chaleur *engendrée*. Nous verrons bientôt que ce rendement s'élève même jusqu'à 80 p. 100 dans les grands hauts fourneaux à fer.

Mais auparavant cherchons encore à fixer l'effet utile de quelques autres fours à cuve de moindre hauteur. Prenons à cet effet les demi-hauts fourneaux dans lesquels on pratique les fontes *crues*, ou fontes pour *mattes*. Ce sont, comme on sait, de simples fusions, dans lesquelles, en

dehors de la combustion, les réactions chimiques jouent, au point de vue calorifique, un rôle subordonné.

Citons, comme premier exemple, les demi-hauts fourneaux de la principale usine à cuivre de Suède, celle d'*Atvidaberg*. Vers 1864, on se servait de fours rectangulaires de 5 à 6 mètres de hauteur, rétrécis au gueulard, et plutôt *évasés* dans la région des tuyères, selon les fâcheux préjugés anciens. Par vingt-quatre heures, on ne passait que 12 à 14 tonnes de lit de fusion, circonstance aussi peu favorable à l'économie du combustible que l'évasement dans la zone de fusion.

Les minerais se composent de pyrites de fer et de cuivre plus ou moins zincifères; elles sont quartzeuses et partiellement grillées. Les produits de la fonte crue sont 20 p. 100 de mattes et 75 p. 100 de scories bisilicatées, ferrugineuses, tenant 41 à 42 p. 100 de silice. En adoptant les nombres que je viens de publier dans cette livraison même (*), on trouve, comme chaleur utilisée par kilogramme de matière fondue :

Pour	$0^k,20$ de mattes, à 275 cal.	55 calories.
	$0^k,75$ de scories, à 410 cal.	307 —
	Total.	362 calories.

Or, la consommation fut alors de 20 p. 100 de coke anglais, soit $0^k,18$ de carbone pur par kilogramme de matière fondue, ce qui donne comme chaleur *totale disponible :*

$$8.080 \times 0,18 = 1.454 \text{ calories};$$

par suite, l'effet utile forme les 25 p. 100 de la chaleur totale disponible.

Ignorant la composition des gaz, il m'est impossible de déterminer la chaleur *engendrée;* mais il est certain que

(*) *Annales des mines*, t. VIII, p. 172.

l'effet utile ne saurait être inférieur à 30 ou 35 p. 100 de la chaleur réellement développée dans le four à cuve.

Comme deuxième exemple, je citerai les importantes usines à cuivre du *Mansfeld*, en Prusse. On y fond des schistes marno-cuivreux du terrain permien, préalablement calcinés à cause du bitume et de l'acide carbonique de la gangue calcaire. Mais observons de suite que toute la chaux n'est pas vive ; une partie reste plus ou moins carbonatée et une autre est transformée en hydrate, ce qui entraîne, lors de la formation des laitiers, une absorption de chaleur dont il est impossible de tenir compte.

Les fours à cuve sont rétrécis dans la région de fusion, mais leur hauteur n'est que de 6 à 8 mètres, et le poids des matières fondues par vingt-quatre heures de 11 à 12 tonnes à peine ; aussi la consommation y est-elle, comme à Atvida, de 18 à 20 p. 100 de coke (*). En admettant 17 p. 100 de carbone pur, on a, comme chaleur *totale dépensée* par kilog. de matière fondue,

$$8.080 \times 0,17 = 1.374 \text{ calories.}$$

D'autre part, la chaleur *utilisée* est :

pour $0^k,09$ de mattes, à 275 cal., de.	25 calories,
et pour $0^k,80$ de laitier, à 400 cal., de.	320 —
soit un total de.	345 calories,

qui représentent, comme à Atvida, les 0,25 du combustible dépensé. Mais ce combustible n'est pas complétement brûlé ; il en reste sous forme de CO et de CH, que nous connaissons grâce aux analyses de M. Bunsen (**), ce qui

(*) On a porté récemment la hauteur à 10 mètres, et l'on a augmenté la production, ce qui a dû réduire la consommation ; mais je cite ici des données qui se rapportent à des époques antérieures à 1870.

(**) Rammelsberg. *Chimie métallurgique*, et *Annales de Poggendorf*, t. L.

nous permet de calculer la chaleur réellement *reçue* par le fourneau.

Les gaz se composaient au volume de :

Az.	68,45
CO.	13,62
CO^2.	11,81
SO^2.	1,55
H.	1,94
Gaz des marais	2,63
	100,00

Je négligerai l'hydrogène, dont le poids est faible, mais il faut tenir compte de l'oxyde de carbone et du gaz des marais. Or, l'analyse montre que le carbone du gaz des marais représente le onzième du carbone total ; par suite, au lieu de $0^k,17$ de carbone, $0^k,155$ seulement sont brûlés en CO^2 et CO dans le fourneau.

D'autre part, en multipliant les volumes de CO et de CO^2 par leurs densités respectives, on trouve :

$$m \text{ ou } \frac{CO^2}{CO} = \frac{1807}{1321} = 1,37,$$

ce qui donne, pour le poids de l'oxyde de carbone (par chaque kilogramme de matière fondue), en se rappelant que $c = 0^k,155$:

$$x = \frac{77 . c}{33 + 21m} = \frac{77 \times 0,155}{33 + 21 \times 1,37} = 0^k,193,$$

et pour le poids de l'acide carbonique :

$$mx = 1,37 \times 0,193 = 0^k,264.$$

Or, $0^k,193$ d'oxyde de carbone renferment $0^k,083$ de carbone,
et $0^k,264$ d'acide carbonique. . . . . $0^k,072$ —

Total. . . . . . . $0^k,155 = c.$

Par suite, on a finalement comme *chaleur engendrée* :

Par le carbone brûlé en CO. . . . . $2.473 \times 0,083 = 205$ calories.
— — en CO^2. . . . $8.080 \times 0,072 = 582$ —

Total. . . . . . 787 calories.

Mais le fourneau recevait aussi de la chaleur par le vent, chauffé à 135° C. sous l'action directe des gaz du gueulard. Le poids du vent peut se déduire approximativement de l'oxygène contenu dans CO et CO^2, puisque, dans les fontes crues, les matières minérales cèdent au carbone très-peu d'oxygène. Or l'oxygène des deux gaz est donné par l'expression $\frac{4}{7}x + \frac{8}{11}mx$; d'où le poids de l'air, par

$$4,33 \times \left(\frac{4}{7}x + \frac{8}{11}mx\right).$$

En y substituant les valeurs de $x = 0^k,193$ et $mx = 0^k,264$, on trouve, pour le poids du vent, $1^k,31$; et, pour la chaleur apportée par le vent chaud,

$$1,31 \times 135 \times 0,239 = 42 \text{ calories (*)}.$$

Ainsi la chaleur *reçue* par le fourneau est de

$$787 + 42 = 829 \text{ calories.}$$

Sur ce total, on en utilise 345 calories, c'est-à-dire les 0,416. Les 0,584 restants, que l'on perd, se composent surtout de deux parts : la chaleur sensible des gaz et celle qui se dégage au travers des parois. La température des gaz et leur chaleur spécifique étaient de 300° et de 0,26, d'après M. Bunsen ; leur poids, d'environ $1^k,50$ par kilogramme de matière fondue (**). Il en résulte, pour la chaleur propre des gaz, 117 calories, formant les 0,141 de la chaleur reçue ; par suite, la chaleur perdue par les parois correspondrait à peu près aux 0,443 de la chaleur reçue, chiffre presque iden-

(*) 0,239 est la chaleur spécifique de l'air humide.

(**) C'est $1^k,31$ d'air, plus $0^k,17$ de carbone, plus les faibles doses de soufre et d'hydrogène.

tique à celui que nous avons trouvé pour l'ancien cubilot de Vienne. Ainsi donc, tandis que dans ce cubilot, où les gaz s'échappaient à 600°, on n'utilisait que 29 à 30 p. 100 de la chaleur engendrée, on arrivait au Mansfeld, grâce à la hauteur plus grande des fours, à la proportion de 41 à 42 p. 100. Mais cette proportion peut être dépassée lorsqu'on augmente encore la hauteur du fourneau et sa production. C'est là sans doute le but que l'on se proposait en remplaçant les anciens fours de 6 à 8 mètres par un grand fourneau de 10 mètres. Malheureusement les éléments me manquent pour apprécier les avantages réalisés par ce changement.

Pour y suppléer, jusqu'à un certain point, je citerai, comme dernier exemple, le grand four Pilz à 8 tuyères de Freyberg, d'une hauteur de 7 mètres, dans lequel on refond les scories plombeuses avec 14 à 15 p. 100 de mattes en partie grillées. C'est encore une simple refonte où les réactions réductives jouent un rôle subordonné. On fond 50 tonnes de lit de fusion par 24 heures, en brûlant $0^k,085$ de coke par kilogramme de matière fondue, ou au plus $0^k,08$ de carbone pur, ce qui donne comme chaleur *totale* disponible :

$$8.080 \times 0,08 = 646 \text{ calories.}$$

Les produits sont :
- 75 p. 100 de scories protosilicatées ferrugineuses,
- 15 à 16 p. 100 de mattes,
- et 6 à 7 p. 100 de plomb d'œuvre.

Les chaleurs possédées par ces produits fondus sont approximativement :

Pour	la scorie, de. . . .	$0,75 \times 300 =$	225 calories,
	la matte, de. . . .	$0,155 \times 260 =$	40 —
	le plomb, de. . . .	$0,065 \times 50 =$	3 —
		Total.	268 calories,

c'est-à-dire environ 41 p. 100 de la chaleur totale, au lieu des 25 p. 100 constatés dans les fours du Mansfeld.

Ainsi, on se rapproche ici des cubilots modernes dont l'effet utile est de 48 p. 100. Malheureusement on ne connaît pas non plus la composition des gaz ; nous ne pouvons donc calculer la chaleur *engendrée;* mais, en tous cas, il est bien certain que l'effet utile doit dépasser ici, comme dans les cubilots perfectionnés, la moitié de la chaleur réellement *fournie* à l'appareil de fusion. Une analyse, faite avec l'appareil Orsat, permettrait d'être fixé bien exactement à cet égard. Je saisis donc de nouveau cette occasion pour le recommander aussi bien aux ingénieurs des fonderies de cuivre et de plomb qu'aux maîtres de forges.

Arrivons enfin aux hauts fourneaux à fer, les plus considérables des fours à cuve. Dans ces vastes appareils, les réactions chimiques jouent un rôle calorifique important; on ne peut se borner à la chaleur fournie par la combustion. Mais j'ai déjà montré, dans mes études sur les hauts fourneaux, comment on pouvait tenir compte des effets calorifiques, dus à la réduction du minerai, à la décomposition du calcaire, etc. (*). Le tableau résumé de la page 62 du mémoire en question renferme tous les éléments essentiels de la marche de cinq hauts fourneaux. On y trouve la chaleur dépensée, la chaleur utilisée, celle qui se perd au travers des parois et celle qui est entraînée par les gaz. Je pourrais donc me borner à rappeler ces chiffres pour faire apprécier de suite l'effet utile réalisé dans ces fourneaux. Mais je dois pourtant tenir compte de la note par laquelle je terminai ces études (page 114). Je faisais remarquer que les quantités de chaleur, retenues par la fonte et les laitiers, paraissaient estimées un peu trop haut ; qu'il y aurait lieu à diminuer d'une centaine de calories la chaleur utilisée, et à augmenter d'autant celle qui se perd au travers des parois. Les expériences calorimétriques, que j'ai publiées depuis lors (**),

(*) *Annales des mines*, 7e série, t. II, p. 1.
(**) *Annales des mines*, 7e série, t. IV, p. 224.

montrent en effet que la chaleur emportée par la fonte et les laitiers est en général plus faible que ne l'a supposé M. L. Bell. Il faut donc légèrement modifier quelques-uns des résultats consignés dans le tableau-résumé de la p. 62.

Pour les fontes grises nos 3 et 4 des trois fourneaux du Cleveland, j'admettrai 300 calories, au lieu de 330, et pour les laitiers correspondants, 500 au lieu de 550; pour les fontes moins chaudes, nos 4 à 5, des deux hauts fourneaux de l'usine de Consett, 280 calories au lieu de 330, enfin pour les laitiers correspondants, 480 au lieu de 550. En tenant compte du poids de laitiers fondus on trouve alors, en ce qui concerne les laitiers du premier haut fourneau, une diminution de $1^k,600 \times 50 = 80$ calories, et, par suite, en y ajoutant les 30 calories relatives à la fonte, 110 calories à défalquer de la chaleur utilisée.

On trouve de même à retrancher

du chiffre concernant		le 2e fourneau. . . .	30 + 76 = 106 cal.
—	—	le 3e fourneau. . . .	30 + 75 = 105 —
—	—	le 4e fourneau. . . .	50 + 67 = 117 —
—	—	le 5e fourneau. . . .	50 + 66 = 116 —

En faisant ces corrections aux chiffres du tableau précité, corrections qui ne portent que sur la chaleur *utilisée* et sur celle qui se perd au travers des parois, on arrive finalement aux résultats suivants :

NOMS des hauts fourneaux.	PETIT haut fourneau de Clarence-Works de 1853.	GRAND haut fourneau de Clarence-Works de 1866.	HAUT FOURNEAU d'Ormesby de 1867.	HAUT FOURNEAU de Consett, à vent chaud ordinaire.	HAUT FOURNEAU de Consett, à vent extra-chaud.
Carbone brûlé par kilog. de fonte produite.	kilog. 1,288	kilog. 0,990	kilog. 0,987	kilog. 1,0055	kilog. 0,789
Chaleur *totale*, en supposant tout le carbone transformé en CO^2.	Calories. 10407	Calories. 7999	Calories. 7975	Calories. 8124	Calories. 6375
Chaleur réellement *reçue* par les hauts fourneaux (combustion et vent chaud).	4935	4418	4459	4192	3654
Chaleur *utilisée* (par la réduction du minerai, la fusion de la fonte et du laitier, la décomposition du calcaire, etc.).	3548	3420	3373	2997	2960
Chaleur *sensible* emportée par les gaz.	923	545	646	758	303
Chaleur *perdue* au travers des parois (par différence).	464	453	440	437	391
Total de la chaleur *dépensée*, égale à la chaleur *reçue*.	4935	4418	4459	4192	3654
Rapport de la chaleur *utilisée* à la chaleur *totale* que peut développer le combustible consommé.	0,341	0,427	0,423	0,369	0,464
Rapport de la chaleur *utilisée* à la chaleur *reçue* par les fourneaux.	0,719	0.774	0,757	0,715	0,810
Rapport de la chaleur *sensible* des gaz à la chaleur *reçue*.	0,187	0,123	0,144	0,181	0,083
Rapport de la chaleur *perdue* au travers des parois à la chaleur *reçue*.	0,094	0,103	0,098	0,104	0,107
	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000
Rapport de la chaleur *perdue*, au travers des parois, à la chaleur *totale*.	0,045	0,056	0,055	0,054	0,061

Des résultats, consignés dans ce tableau, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° On voit d'abord que la chaleur *utilisée* ne correspond, dans certains hauts fourneaux, qu'au *tiers* (0,341) de la chaleur *totale*, et n'en paraît jamais atteindre la *moitié*, même dans les cas les plus favorables. Le rapport le plus élevé est ici de 0,464. La chaleur qui manque (la moitié au moins, et dans certains cas les deux tiers) se retrouve

presque entièrement dans les gaz combustibles du gueulard. 4 à 6 p. 100 seulement de la chaleur *totale* se dissipent au travers des parois.

2° Si l'on compare, au contraire, la chaleur *utilisée* à celle que le fourneau *reçoit* réellement, et non à celle que le combustible aurait pu développer dans les conditions les plus favorables, on trouve des rapports qui varient de 0,715 à 0,810.

Ainsi, dans ces grands fours à cuve, on peut arriver à ne perdre que 20 p. 100 de la chaleur *reçue*, et au plus 30 p. 100 dans le cas le plus défavorable. La différence entre ces deux allures porte entièrement sur la chaleur *sensible* des gaz; celle-ci varie, dans les cinq exemples en question, entre 0,083 et 0,187, tandis que les pertes de chaleur par les parois n'oscillent qu'entre 0,094 et 0,107.

3° Si l'on voulait enfin résumer les résultats précédents en *nombres ronds*, on pourrait dire que, dans les plus mauvaises allures, la chaleur *reçue* se répartit ainsi :

Chaleur utilisée.	0,70
Chaleur sensible des gaz.	0,20
Perte par les parois.	0,10
Total.	1,00

Dans le cas d'une bonne allure ordinaire,

Chaleur utilisée.	0,75
Chaleur sensible des gaz.	0,15
Perte par les parois.	0,10
Total.	1,00

Enfin dans le cas d'une très-bonne allure, et surtout lorsqu'on fait usage de vent très-chaud,

Chaleur utilisée.	0,80
Chaleur sensible des gaz.	0,10
Perte par les parois.	0,10
Total.	1,00

Mais je dois observer, en terminant, que ces conclusions ne s'appliquent qu'aux minerais *calcinés*. Dans le cas de minerais hydratés ou carbonatés, la chaleur sensible des gaz descend bien au-dessous de 10 p. 100, et la chaleur utilisée s'accroît de tout ce que les gaz entraînent en moins.

Calcination dans les fours annulaires. — On peut assimiler aux fours à cuve les fours annulaires *Hoffmann*, que j'ai fait connaître aux lecteurs des *Annales* en 1871 (*). Le combustible y est mêlé à la substance à calciner, et le chauffage rigoureusement méthodique. Par ces motifs, l'effet utile est, dans ces appareils, aussi élevé que dans les hauts fourneaux à fer.

Lorsque les fours annulaires servent à la cuisson du calcaire, on consomme 6 à 7 kilog. de houille menue par 100 kilog. de calcaire; par suite, par kilogramme de calcaire, on brûle $0^k,06$ de houille pure et développe $8.080 \times 0,06 = 485$ calories.

D'autre part, pour chasser l'acide carbonique, il faut $373^{cal.},5$, d'après les expériences de MM. Favre et Silbermann : donc on utilise 77 p. 100 de la chaleur *totale* dépensée, qui est ici égale à la chaleur *engendrée*, parce que la combustion se fait sans fumée.

Lorsque le four sert à la cuisson des briques rouges, on consomme 4 p. 100 de houille ou $0^k,035$ de combustible pur par kilog. de brique cuite, soit une dépense de $8080 \times 0,035 = 283$ calories; tandis que la chaleur utilisée correspond à la vaporisation de $0^k,30$ d'eau, exigeant $637 \times 0,30 = 191$ calories, soit un effet utile de 70 p. 100.

Conclusions. — L'effet calorifique utile des nombreux fourneaux dont on se sert dans les usines métallurgiques varie entre des limites extrêmement larges. Les plus imparfaits sont les fours à vent pour la fusion des métaux

(*) *Annales des mines*, 6ᵉ série, t. XX, p. 335.

en creusets; les plus parfaits, les grands fours à cuve soufflés. La chaleur utilisée atteint à peine, dans les premiers, 5 p. 100 de la chaleur engendrée, tandis qu'elle peut s'élever dans les fours à cuve à 80 p. 100.

Résumons les chiffres que nous venons de constater :

1° Dans les fours à vent servant à la fusion de l'acier, le métal n'absorbe pas au delà de 1,7 p. 100 de la chaleur *totale* que peut fournir le combustible, et seulement 5 p. 100 de la chaleur réellement *reçue* par le four à vent.

2° Dans les reverbères, où l'acier est fondu en creusets, l'effet utile atteint 2 p. 100 de la chaleur *totale*, mais ne dépasse pas non plus 3 p. 100 de la chaleur développée.

3° Dans les fours Siemens à creusets, la fusion de l'acier n'absorbe pas au delà de 3 à 3,5 p. 100 de la chaleur totale.

4° Dans les verreries, où les pots contiennent à la fois 500 à 600 kilog. de verre, on utilise, sur les banquettes des fours à galères, 3 p. 100 de la chaleur totale, et dans les Siemens 5,50 à 6 p. 100.

5° En opérant la fusion directement sur la sole d'un réverbère, l'effet utile est de 7 p. 100 pour le verre et de 8 pour la fonte de fer.

Le simple réchauffage du fer, et la *fonte crue* des minerais de cuivre ou d'argent absorbent aussi 6 à 10 p. 100, ou en moyenne 8 p. 100, de la chaleur dépensée. On ne dépasse cette faible proportion que dans les fours Ponsard, ou dans les très-longs réverbères à chauffage méthodique; on peut arriver alors à 15 ou 17 p. 100, et même à 20 p. 100 dans les Siemens et les fours Ponsard convenablement établis.

6° L'effet utile des cornues Bessemer et des petits fours à parois de chaux et à chalumeau, de M. H. Deville, atteint 11 à 12 et même 14 p. 100.

7° L'effet utile des fours à cuve les moins parfaits dépasse en général celui des meilleurs reverbères. Ainsi les

cubilots peu élevés, de faible production, utilisent pourtant 18 à 20 p. 100 du pouvoir calorique total du coke consommé, ou 29 à 30 p. 100 de la chaleur engendrée. De même, les anciens demi-hauts fourneaux des usines à cuivre utilisent 25 p. 100 de la chaleur totale que le combustible consommé pourrait fournir, et 40 à 45 p. 100 de la chaleur réellement engendrée.

Les cubilots modernes, à cuve élevée, zone de fusion étroite et forte production, absorbent utilement au delà de 50 p. 100 de la chaleur engendrée, et les grands fours récents des fonderies de Freyberg réalisent ce même effet utile.

8° Les hauts fourneaux à fer utilisent, selon leur allure, 70 à 80 p. 100 de la chaleur réellement engendrée dans le fourneau même. Elle correspond, selon les cas, à 34, 40, au plus 50 p. 100, de la chaleur *totale* que le charbon consommé peut réellement fournir par sa combustion complète.

9° Enfin les fours annulaires, qui servent au chauffage des briques et à la cuisson du calcaire, utilisent, comme les hauts fourneaux, 70 à 80 p. 100 de la chaleur dépensée.

En finissant, je rapporterai, comme terme de comparaison, les chiffres moyens, constatés par MM. Scheurer-Kestner et Ch. Meunier, dans leurs études sur l'utilisation de la chaleur dans les générateurs à vapeur (*) :

Calories dans la vapeur produite.	61,00
— dans les gaz brûlés.	0,50
— dans les cendres.	1,50
— dans les gaz combustibles.	5,50
— dans le noir de fumée.	0,50
— dans la vapeur d'eau de la fumée. . .	2,50
— perdues par les parois.	23,50
	95,00

(*) *Recherches sur la combustion de la houille*, page 210.

MÉMOIRE

SUR

LA MACHINE D'ÉPUISEMENT A DOUBLE EFFET

DU SYSTÈME WOOLF

Construite par MM. Quillacq et C[ie] d'Anzin

ÉTABLIE SUR LE PUITS TUHAN DES MINES DE BRANDEISL A KLADNO (BOHÊME)

Par M. A. PERNOLET, ancien élève de l'École des mines.

Les machines d'épuisement à double effet qu'on rencontre en si grand nombre dans le bassin de la Ruhr où elles ont été appliquées pour la première fois en 1864, ont reçu, dans ces dernières années, divers perfectionnements qui permettent de les considérer comme la solution la plus avantageuse, dans bien des cas, du problème à résoudre dans l'installation des grands épuisements.

Peu connues en France, où elles ont pourtant été signalées à deux ou trois reprises par M. Burat, ces machines méritent de l'être à tous égards, tant au point de vue des facilités et de l'économie de premier établissement qu'elles présentent qu'au point de vue de la détente prolongée et de l'accroissement de vitesse moyenne qu'elles permettent.

Ayant eu l'occasion de voir la belle application que vient d'en faire en Bohême, dans les houillères de la Compagnie des chemins de fer autrichiens, un constructeur français, M. Quillacq, je crois intéressant pour les lecteurs des *Annales* de décrire cette machine, en faisant précéder sa description de quelques considérations générales sur les machines à double effet et leurs applications antérieures qu'il m'a été donné de voir dans le bassin de la Ruhr à différentes époques.

I. — Considérations générales sur les machines d'épuisement à double effet. — Leurs avantages au point de vue des frais de premier établissement, de la détente et du nombre de coups donnés par minute.

Des machines à double effet comparées aux machines à simple effet et ce qui les différencie. — Le problème de l'épuisement, du moment qu'on adopte une machine à mouvement alternatif avec maîtresse tige, revient toujours à élever un volume d'eau déterminé par coup de piston, avec des pompes à simple effet n'agissant qu'en descendant puisqu'on emploie des pompes foulantes à piston plongeur.

Dans les *machines ordinaires à simple effet*, on résout le problème en faisant la maîtresse tige assez lourde pour que, une fois soulevée par la vapeur et abandonnée à elle-même, elle puisse, par son seul poids, déterminer le refoulement de l'eau dans toute la série des pompes foulantes et vaincre toutes les résistances passives qui s'offrent à sa descente. Si l'on veut marcher à détente, il faut même augmenter le poids de la maîtresse tige de manière à avoir des masses, en mouvement, suffisantes pour ne pas prendre une vitesse exagérée au départ sous l'action de la vapeur à pleine pression, sauf à équilibrer, par des contre-poids, cet excédant de poids qui rendrait trop rapide la descente de la maîtresse tige. Ainsi donc, dans les machines d'épuisement à simple effet, qui, en France, sont presque les seules employées, la machine à vapeur doit être calculée de manière à produire en une seule course, — la course montante dans les machines à traction directe, — tout le travail nécessaire à l'élévation de la maîtresse tige, ce qui conduit à des dimensions de machines souvent considérables.

Dans les *machines à double effet*, on cherche à repartir également entre les deux courses le travail de l'élévation de l'eau et des résistances passives de manière à n'avoir que des machines de dimensions moitié moindres. Pour cela, on

ne laisse à la maîtresse tige que la moitié du poids qui lui est nécessaire pour refouler l'eau et vaincre toutes les résistances passives, équilibrant par des contre-poids tout l'excédant de poids qu'il faut lui donner pour obtenir une résistance suffisante, et, à la course descendante, on fait, pour produire le refoulement de l'eau et surmonter les résistances passives, agir la vapeur au-dessus du piston de manière à compenser l'insuffisance de poids de la maîtresse tige qui est nécessairement construite en fer, de section évidée lui permettant de travailler par refoulement et guidée de façon à ne pas fouetter. Dans ces conditions, la vapeur n'a évidemment à développer qu'un travail moitié moindre à chaque course, puisqu'elle n'a à soulever qu'une maîtresse tige de poids moitié moindre. Mais elle a, pendant la course descendante, à développer le même travail que pendant la course ascendante. C'est-à-dire qu'on dépense autant de vapeur, mais dans un cylindre de section moitié moindre et avec des tiges de poids considérablement moindre. Il y a donc économie de premier établissement. C'est là un premier avantage qui, dans les grands épuisements, peut être très-important.

Avantage des machines à double effet au point de vue de la détente. — Un second avantage des machines à double effet, c'est de permettre un emploi de la détente beaucoup plus étendu que les machines à simple effet, et la raison en est facile à comprendre :

En effet, dans une machine à détente, quel qu'en soit le système, il y a entre la force exercée par la vapeur sur le piston au commencement de la course, et la force exercée à la fin de la course un écart d'autant plus grand que la détente commence plus tôt, tandis que la résistance à vaincre est constante et égale au poids libre de la maîtresse tige augmentée de toutes les résistances passives. Au départ, l'action de la vapeur est très-supérieure à la résistance à vaincre, tandis qu'à la fin elle lui est inférieure, et pour

rester maître de l'accélération communiquée à la maîtresse tige par cet excès de puissance, on doit donner à la maîtresse tige et à ses dépendances une masse suffisante pour lui permettre d'emmagasiner, sous forme de force vive, la vitesse exagérée que tend à prendre la maîtresse tige pendant l'admission, et qu'elle restituera sous forme de travail pendant la détente. Or la force vive emmagasinée par les masses en mouvement, à un instant donné, est égale à l'excès du travail moteur sur le travail résistant, ainsi que l'exprime l'équation connue :

$$\frac{1}{2}\left(\frac{P}{g}\right) V^2 = T,$$

équation dans laquelle :

P est le poids de tout le système en mouvement,
g l'accélération due à la pesanteur 9,808,
$\frac{P}{g}$ la masse de l'attirail et des colonnes d'eau soulevées,
V la vitesse du système.
$T = \mathcal{T}_m - \mathcal{T}_r =$ l'excès du travail moteur sur le travail résistant, équation qui peut se mettre sous la forme :

$$V^2 = \frac{T}{P} 2g.$$

On voit donc qu'il y a entre la vitesse, l'excès du travail moteur sur le travail résistant, et le poids des pièces en mouvement une relation nécessaire telle que, pour maintenir la vitesse V dans les limites de $1^m,50$ à $1^m,75$, qu'il n'est pas sage de dépasser, il faut donner à P une grande valeur par rapport à T.

Dans les machines à simple effet où T est donné par les conditions dans lesquelles doit marcher l'épuisement, on ne peut agir que sur P, et c'est ce qu'on fait en donnant aux masses en mouvement des poids qui peuvent aller jusqu'à 500 et 600 tonnes. Mais, dans la pratique, il est double-

ment cher de donner aux masses en mouvement des poids aussi considérables :

D'abord le premier établissement en est fort coûteux à cause des balanciers qu'elles exigent.

Puis l'entretien de ces masses constamment soumises à un mouvement alternatif est extrêmement onéreux. Aussi renonce-t-on fréquemment à la détente dans les machines à simple effet.

Dans les machines à double effet, au contraire, où l'on répartit également entre les deux courses tout le travail à développer, et où, par conséquent, l'excès du travail moteur sur le travail résistant n'est plus, pour chaque course, que la moitié de ce qu'il est dans une machine à simple effet qui doit développer tout le travail en une seule course, l'influence des masses se trouve doublée sans qu'on ait à les augmenter, puisque dans le rapport $\frac{T}{P}$, T se trouve diminué de moitié par le seul fait de l'emploi du double effet. On peut donc avec ces machines :

Ou réduire considérablement les masses en mouvement pour un degré de détente donné;

Ou prolonger considérablement la détente pour des masses en mouvement données.

C'est là un avantage très-important, aujourd'hui surtout que partout on se préoccupe d'économiser le combustible consommé par les machines. On obtiendra évidemment un résultat beaucoup plus satisfaisant encore au point de vue de la réduction des masses en mouvement si, au lieu de la détente ordinaire, on adopte le système de Woolf qui, avec ses deux cylindres, permet de pousser plus loin la détente, en la faisant commencer au besoin dans le petit cylindre : de plus, on sait qu'avec le système de Woolf, il est possible de faire disparaître l'influence de l'espace nuisible, influence qui n'est pas négligeable lorsqu'on prolonge beaucoup la détente dans un seul cylindre;

pour cela il suffit de couper la communication entre les deux cylindres avant la fin de la course du petit piston, de manière que la vapeur comprimée depuis cet instant jusqu'à la fin de la course soit ramenée à sa pression initiale. Enfin, le système de Woolf réduit très-notablement l'écart entre les efforts exercés par la machine au commencement et à la fin de la course, écart qui, pour une grande détente, est considérable dans une machine à un seul cylindre. Cela étant, la machine de Woolf présente des avantages tels qu'on devrait toujours l'adopter quand il s'agit d'actionner des pompes d'épuisement avec une machine à mouvement alternatif et sans volant.

Avantage des machines à double effet au point de vue de la vitesse moyenne. — Un dernier avantage des machines à double effet, c'est que, grâce à l'action de la vapeur au-dessus du piston, la descente de la maîtresse tige s'opère dans des conditions plus favorables au bon emploi de la vapeur et avec une vitesse moyenne plus grande, ce qui permet de donner dans le même temps un plus grand nombre de coups de pompe et par conséquent d'élever une plus grande quantité d'eau. En effet, dans les machines à simple eflet, le refoulement de l'eau dans les colonnes montantes est produit par le *poids libre de la maîtresse tige*, poids qui doit être de beaucoup supérieur à celui des colonnes d'eau tant pour déterminer l'ouverture des clapets au commencement de la descente que pour vaincre les résistances passives. Quand les clapets sont levés, cet excédant de poids devient en partie disponible et tend à accélérer le mouvement, de sorte qu'on est obligé d'annuler son action en étranglant la vapeur à l'échappement, c'est-à-dire de créer une résistance artificielle.

De plus, les tiges arrivent vers la fin de la course avec leur maximum de vitesse, qui ne peut, sans inconvénient, dépasser $0^{m},60$ par seconde, ce qui correspond à une vitesse moyenne très-faible. Dans les machines à double effet,

l'action de la vapeur au-dessus du piston donne lieu à des conditions toutes différentes : l'excès de puissance de la vapeur au commencement de la course, ouvre sans peine les clapets et produit une accélération de vitesse jusqu'au moment où la puissance devient égale à la résistance ; à partir de cet instant, l'excès de la résistance sur la puissance va en croissant et tend à réduire la vitesse qui arrive à zéro à la fin de la course. Grâce à cela, la vitesse moyenne peut être considérablement augmentée et l'on évite la résistance passive produite par l'étranglement de la vapeur à l'échappement.

Historique. — Progrès réalisés. — Employée pour la première fois en 1864, au puits Gewalt, près Steele, dans le bassin de la Ruhr, la machine d'épuisement à double effet s'est depuis si rapidement répandue dans toute la Westphalie, qu'en 1867 on en comptait déjà, dans le seul district de Dortmùnd, 38 en marche, dont 6 à condensation et 32 sans condensation.

Machines d'Ehrhardt. — L'inventeur de ces machines, l'ingénieur Ehrhardt de Mülheim, s'est principalement attaché, dans leur construction, à réduire le poids de tout l'attirail (maîtresse tige et pompes) et les dimensions de la machine de manière à réduire la dépense de premier établissement. Cet avantage de pouvoir, sous des dimensions très-réduites, suffire à des épuisements considérables, a contribué plus encore que l'économie de premier établissement, à faire si rapidement adopter ces machines dans ce bassin où les difficultés qu'on éprouve à traverser les morts terrains, obligent souvent à concentrer dans un puits unique tous les services d'une exploitation. Aussi en est-on arrivé, pour diminuer l'encombrement des puits et faciliter l'installation, à admettre couramment des jeux foulants d'une hauteur considérablement plus grande qu'en France ; j'en citerai bon nombre qui dépassent 100 mètres, et j'ai vu dès 1867, à Langendrer, au puits Saint-Arnold, un très-

beau spécimen de machine d'épuisement à double effet dont le premier jeu foulant était établi au-dessous de la partie cuvelée, à 144 mètres de profondeur. On ne semblait pas encore se préoccuper à cette époque des ressources toutes spéciales qu'offre ce système de machine pour l'application de grandes détentes ; dans toutes les machines que je vis alors, on n'avait donné à la maîtresse tige, toujours en fer, que les dimensions strictement nécessaires pour résister aux efforts de traction et de compression auxquels elle était soumise ; l'absence de toute masse en mouvement ne permettait pas de détente prolongée.

Ce n'est qu'en 1869 que M. Ehrhardt pensa à compléter ce système de machine par l'application du système de Woolf. J'ai vu à Gewalt la première machine de ce modèle qui marche depuis le 21 juillet 1869. C'est une fort belle machine, bien étudiée, et fonctionnant très-régulièrement, mais la disposition générale de cette machine avec ses deux cylindres juxtaposés comme dans les grandes machines de Woolf à simple effet de la Vieille-Montagne et du Creuzot (puits Saint-Laurent) enlève à la machine à double effet l'un de ses avantages, celui de n'exiger pour son installation qu'un emplacement des plus réduits, et je considère comme une innovation très-heureuse, destinée à rendre partout applicables les machines à double effet et à grande détente, la disposition à cylindres superposés imaginée par M. Quillacq, l'habile constructeur d'Anzin.

Machines de Quillacq. — Le plus bel exemple de ce type de machines est assurément la machine que j'ai vue l'année dernière à Kladno (Bohême), aux mines de Brandeisl, qu'exploite la Compagnie des chemins de fer autrichiens. Cette machine est à grande détente du système de Woolf, à traction directe et à condensation, mais à cylindres superposés dans l'axe de la maîtresse tige et des pompes ; toutes les parties de cette machine sont si habilement groupées autour des cylindres qu'elle tient tout entière dans un rectangle

de 10 mètres sur 6m,80. Cette disposition, aussi simple qu'élégante, me semble à recommander sous tous les rapports : M. Quillacq a évidemment trouvé là la meilleure solution pour les grands épuisements tant au point de vue d'une grande puissance réalisée sous un faible volume, ce qui est d'importance capitale lorsqu'on doit concentrer sur un même puits l'extraction et l'épuisement, qu'au double point de vue d'une économie immédiate dans la dépense de premier établissement et d'une économie permanente de vapeur et de combustible.

Cette machine me paraît une solution à mettre en regard de celle adoptée par M. Audemare pour le puits Sainte-Marie des mines de Blanzy, solution moins élégante assurément que le refoulement direct au moyen d'une machine à vapeur établie au fond, mais d'une application plus générale, car on sait les difficultés d'exécution et d'entretien présentées par les machines à mouvement circulaire continu établies à l'intérieur des travaux à assécher. Ces difficultés sont telles que, malgré les exemples si bien étudiés et si satisfaisants donnés par la Compagnie des mines de Blanzy, cette solution n'est considérée par la plupart des ingénieurs que comme un expédient auquel il est précieux de pouvoir recourir dans certaines circonstances toutes spéciales, mais auquel ils préfèrent normalement la machine d'épuisement à mouvement alternatif avec temps d'arrêt aux extrémités de la course, qui seule d'ailleurs est applicable aux grandes profondeurs.

Les machines du puits Tuhan, à Kladno, que, dès l'année dernière, M. Barré, ingénieur des mines, directeur des mines et domaines de la Compagnie des chemins de fer autrichiens, me signalait comme exemplaire, a depuis si brillamment fait ses preuves, que M. Barré en commanda une seconde du même système à M. Quillacq pour les mines de Bechitza dans le Banat. Enfin on me dit que sur le conseil de M. l'inspecteur général Callon, la Société des

mines de soufre de Grotta Calda, en Sicile, vient de commander au même constructeur une machine de ce type pour un épuisement de 141 mètres.

Ces deux commandes montrent que la machine d'épuisement à double effet du système Quillacq est dès maintenant reconnue comme très-avantageuse, et elles émanent d'ingénieurs trop compétents pour que je ne sois pas très-heureux de trouver mon jugement confirmé par le leur.

II. — Description de la machine d'épuisement à double effet établie sur le puits Tuhan des mines de Brandeisl en Bohême, par MM. Quillacq et Cie, d'Anzin.

La machine d'épuisement du puits Tuhan, dont la Pl. III, *fig.* 6, 7, 8, 9 et 10, fait connaître la disposition générale, a été conçue par MM. Quillacq et Cie à la suite d'un voyage que leur ingénieur, M. Martin, fit dans le bassin de la Ruhr pour étudier les perfectionnements apportés aux machines d'épuisement dans cette région.

Proposée par ces messieurs à la Compagnie des chemins de fer autrichiens, elle fut adoptée pour le puits Tuhan, sur lequel elle marche depuis septembre 1874.

Profondeur du puits d'épuisement. — La profondeur à laquelle il faut prendre l'eau est de 350 mètres, et cette hauteur a été divisée en deux parties :

Sur la première, qui a 15 mètres, on a établi deux pompes aspirantes et soulevantes, de $0^m,480$ de diamètre, qui prennent l'eau au fond du puits.

Sur la seconde, qui a 335 mètres, on a établi 5 pompes aspirantes et foulantes, de $0^m,638$ de diamètre, échelonnées à des distances variant de $96^m,85$ à $68^m,28$; au jour le réservoir est à $1^m,20$ au-dessus de la margelle du puits, et la hauteur moyenne d'aspiration de chaque jeu foulant étant de $0^m,20$, on voit que la hauteur totale du refoulement est de

$$335^m + 1^m,60 - 5 \times 0^m,60 = 334 \text{ mètres.}$$

Machine motrice. — La machine motrice est une machine :

A traction directe à double effet, à détente du système Woolf, avec cylindres superposés dans l'axe des pompes et de la maîtresse tige ;

A condensation, par pompes à air, avec distribution, par soupapes, du Cornouailles commandées par deux poutrelles attelées sur le balancier du contre-poids.

Le cylindre de détente est placé au-dessous du cylindre moteur : il est porté par deux fortes poutres en tôle jetées en travers du puits et constituant tout le bâti de la machine.

Le petit cylindre repose sur une plaque de fondation qui s'appuie, sur la partie supérieure du grand cylindre, par deux bâtis verticaux suffisamment hauts pour laisser la place nécessaire à l'entretien des calfats et à la sortie du grand couvercle et du piston.

Chacun des pistons est monté sur une tige indépendante, et l'assemblage se fait dans le corps du gros piston, au moyen d'une clavette qu'on peut facilement enlever, en pénétrant dans le grand cylindre par des trous d'homme spécialement disposés pour cela. De cette façon le démontage peut s'effectuer comme suit :

Après avoir défait la rondelle du gros piston et la clavette qui relie les deux tiges, on retire le petit piston avec sa tige par le haut du petit cylindre, puis on retire le couvercle du grand cylindre et la boîte à étoupes rapportée dans la plaque de fondation du petit cylindre, laquelle démasque une ouverture suffisante pour le passage de la grosse tige qu'on enlève également par en haut. Alors le grand piston, remonté jusqu'au-dessus du grand cylindre, peut sortir de côté, entre les deux bâtis.

Les deux cylindres sont à enveloppe de vapeur, la vapeur passant dans l'enveloppe avant d'arriver à la chapelle de distribution.

La distribution ne présente aucune particularité à signaler ; elle se fait par 6 soupapes du Cornouailles mues

par les tasseaux de deux poutrelles de distribution qui reçoivent leur mouvement du balancier d'équilibre, une cataracte à double effet réglant la mise en marche et les temps d'arrêt. Tous les arbres et leviers nécessaires à la commande de la distribution sont groupés au-dessus de la soupape d'échappement du grand cylindre, sur les tuyaux de conduite de vapeur qui leur servent de bâtis. Le mouvement est transmis aux soupapes du haut par des bielles en fer creux, et toutes les pièces de cette transmission sont équilibrées par des contre-poids qui réduisent à son minimum l'effort à exercer par le mécanicien quand il doit commander sa machine à la main.

L'appareil de condensation est établi entièrement au-dessous du plancher du machiniste et au-dessus du balancier contre-poids qui donne le mouvement aux pistons des pompes à air. Il se compose d'un condenseur cylindrique, dans lequel débouche l'échappement, et au-dessous duquel sont établies les deux pompes à air, à simple effet, qui enlèvent tous les produits de la condensation. Sur le tuyau d'échappement est établie une soupape double qui permet de faire échapper la vapeur, à volonté, dans le condenseur ou dans l'atmosphère.

Maîtresse tige. — La maîtresse tige, entièrement en fer, est formée, sur toute sa longueur, de deux tirants identiques écartés de $1^{m},400$, d'axe en axe, et comprenant entre eux les pistons plongeurs dont l'axe se confond avec l'axe de la maîtresse tige.

Chaque tirant a la forme d'une poutre creuse composée de deux fers plats de $0^{m},350$ de largeur, comprenant entre eux deux fers U de $0^{m},250$ de hauteur. Pour proportionner la section de cette tige aux efforts qu'elle a à supporter, on a fait décroître, du haut en bas, l'épaisseur des fers plats, tout en conservant aux fers U une section uniforme.

Attelage de la maîtresse tige à la tige du piston. — Une forte traverse en fer forgé, sur laquelle sont attelés les deux

tirants qu'elle réunit en manière d'entretoise, reçoit en son milieu l'extrémité de la tige du piston qui est maintenue, en dessous, par un fort écrou et un contre-écrou avec clavette de sûreté.

Entretoises. — Tous les 20 mètres, environ, deux tôles embrassant les deux tirants de la tige sur une hauteur de 1 mètre établissent entre eux une solidarité complète.

Guidonnages. — De distances en distances, la tige qui en ces points porte des fourrures en bois, est guidée entre deux bois scellés dans le muraillement du puits.

Heurtoir. — A une quinzaine de mètres de la surface, on a installé deux paires de sommiers avec contre-fiches, portant de fortes pièces de bois engagées entre les deux tirants de la maîtresse tige et limitant sa course en cas de rupture, l'entretoise supérieure venant dans ce cas butter contre ces bois qui forment aux deux extrémités de la course *heurtoir élastique.*

Pompes foulantes. — Les pompes foulantes, dont la disposition générale est donnée par les *fig.* 7 et 8, Pl. III, sont installées entre les deux tirants de la maîtresse tige, de manière que l'axe des plongeurs se confonde avec l'axe de la maîtresse tige.

Le diamètre des plongeurs est de $0^m,658$.

Attelage des plongeurs à la maîtresse tige. — Les plongeurs sont reliés à la maîtresse tige au moyen de traverses en fonte assemblées avec les tirants de la maîtresse tige de manière à former entretoise et présentant en leur milieu un collet qui reçoit le collet formant la partie supérieure du plongeur.

Soupapes. — Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont des soupapes à double siége de Cornouailles en fonte, avec garnitures en bois debout, fixées dans des rainures ménagées à la fonte dans le double siége.

Pompe soulevante. — La pompe aspirante et soulevante

est double et se compose, comme l'indique la *fig.* 9, de deux corps de pompes en fonte établis dans le prolongement de chacun des tirants de la maîtresse tige.

Colonnes montantes. — Les tuyaux des pompes aspirantes et soulevantes, ainsi que ceux des colonnes montantes, sont en tôle rivée avec collets d'assemblage en fonte.

La colonne montante de chaque jeu foulant est reliée au jeu foulant par un joint à dilatation, formé d'un tuyau en fonte tourné, glissant dans un presse-étoupe porté par la chapelle de refoulement.

Calcul de la machine. — Travail à développer pendant la descente de la maîtresse tige.

Les 5 jeux foulants prenant l'eau à 335 mètres au-dessus du sol pour la déverser à $1^m,50$ au-dessus et ayant chacun une aspiration moyenne de $0^m,50$, la hauteur totale du refoulement est de

$$335^m + 1^m,50 - 5 \times 0^m,50 = 334 \text{ mètres},$$

et le poids de la colonne d'eau à refouler est de

$$\frac{\overline{0^m,658}^2}{4} \times 3^m,14 \times 334 \times 1000 = 113.500 \text{ kilog.}$$

Les résistances passives de toutes espèces à vaincre pendant la descente de la maîtresse tige, représentant environ 1/10 du poids de la colonne d'eau à refouler, l'effort total à exercer à la descente est de

$$113.500^k + 11.350^k = 124.850 \text{ kilog.}$$

La course des plongeurs étant de $3^m,16$, le travail nécessaire pour refouler l'eau pendant la descente est de

$$124.850^k \times 3^m,16 = 395.000 \text{ kilogrammètres.}$$

Travail à développer pendant la levée de la tige. — La hauteur du jeu soulevant étant de 15 mètres, le poids de la

colonne d'eau élevée par la pompe aspirante élévatoire est de

$$\frac{\overline{0^m,68}^2}{4} \times 3,14 \times 15 \times 1000 = 5,450 \text{ kilog.}$$

auxquels il faut ajouter le frottement du piston soulevant, dont la garniture est formée par un cuir embouti en contact avec le corps de pompe sur une hauteur de $0^m,05$. Le frottement représente donc

$$0^m,68 \times 3,14 \times 0,05 \times 15^m \times 1000^k \times 0,23 = 367 \text{ kilog.}$$

La hauteur d'aspiration de chaque jeu foulant étant de $0^m,50$, le poids des cinq colonnes d'eau aspirées par les cinq jeux est de

$$\frac{\overline{0^m,658}^2}{4} \times 3,14 \times 5 \times 0^m,50 \times 1000^k = 850 \text{ kilog.}$$

Les frottements divers et résistances passives représentent, comme à la descente, environ 11.350 kilog.

L'effort à exercer pour la levée de la maîtresse tige est donc de

$$5.450^k + 367^k + 850^k + 11.350^k = 18.017 \text{ kilog.},$$

et le travail à développer pendant toute la lèvée est de

$$18.017^k + 3^k,16 = 57.000 \text{ kilogrammètres.}$$

Travail total. — Le travail à développer pour la course double est donc

A la levée.	57.000	kilogrammètres.
A la descente.	395.000	—
Soit au total. .	452.000	—

Comme la machine est *à double effet* et que les choses sont disposées de manière à répartir également entre les deux courses le travail total à développer, le ***travail à dé-***

velopper par coup de piston n'est que de 226.000 kilogrammètres.

Calcul du diamètre à donner aux cylindres. — Les organes de la machine ont été calculés de manière qu'on puisse au besoin marcher à une pression de 6 atmosphères, mais, pour calculer le diamètre des cylindres, on a admis une pression normale de 4 atmosphères 1/2, et pour établir le rapport de volume des deux cylindres, on s'est donné comme condition que la tension de la vapeur détendue serait le quart de la tension initiale.

Partant de là, on a calculé comme suit les diamètres à donner aux pistons; soit :

V le volume engendré par le petit piston pendant une course simple;

V' le volume engendré par le petit piston pendant l'admission à pleine pression. On a admis, $V' = 0{,}8\,V$;

V'' le volume total de vapeur introduit dans le petit cylindre. Comme l'espace nuisible est de 1/20ᵉ de V,

$$V'' = V' + 0{,}05V = (0{,}8 + 0{,}05)V = 0{,}85V;$$

V_1 le volume occupé par la vapeur, après la détente, dans le petit cylindre

$$V_1 = V + \frac{V}{20} = 1{,}05V;$$

Vg le volume engendré par le grand piston pendant une course simple. En supposant, ce qui est fort près de la vérité, que l'espace nuisible entre les deux pistons soit le 1/8ᵉ de V on doit avoir :

$$Vg + \frac{V}{8} = V'' + 4,$$

puisque l'on veut que la tension de la vapeur détendue soit le quart de la tension initiale,

d'où $$Vg = (4 \times 0{,}85 - 0{,}125)V = 3{,}275V;$$

$V''g$ le volume occupé par la vapeur derrière le grand piston avant la détente dans le grand cylindre

$$V''g = V + \frac{V}{8} = 1{,}125V.$$

C'est le volume total de vapeur introduit dans le grand cylindre;

Vg_1 le volume total occupé par la vapeur après la détente dans le grand cylindre

$$Vg_1 = Vg + \frac{V}{8} = 3{,}400V;$$

P la tension absolue de la vapeur. $P = 4^{atm},5$;

p la tension dans le condenseur $p = 0^{atm},125$.

D'après la formule connue, le travail produit par la vapeur, pendant une course simple, a pour expression dans le cas présent :

$$10.000PV' + 10.000\,PV''\left(\log \text{hyp}\,\frac{1{,}05}{0{,}85} + \log \text{hyp}\,\frac{3{,}600}{1{,}125}\right) - 10.000pVg.$$

Comme ce travail doit être égal à 226.000 kilogrammètres, on a eu, en prenant tout en fonction de V et en effectuant les calculs :

$$226.00 \text{ kilogrammètres} = 82.400\ V,$$

d'où [illegible] $= 2^{m3},750$.

[illegible] $18.017^k + 3^k,16$ [illegible] $3^m,16$ comme celle des pompes, la *surface au petit piston* sera de $\frac{2^{m3},75}{3,16} = 0^{m2},87$, ce qui correspond à un diamètre de $1^m,05$.

Pour le grand cylindre, on a la relation

$$Vg = 3.275V,$$

qui donne pour son volume 9 mètres cubes.

La surface du piston sera donc de $\frac{9}{3,16} = 2^{m2},85$, ce qui correspond à un diamètre de $1^m,91$.

Le constructeur a donné un diamètre de :

$1^m,10$ au petit cylindre
et $2^m,00$ au grand cylindre.

Ces dimensions étant proportionnelles à celles données par le calcul, les conditions de la détente restent les mêmes ; il n'y a de changé que la tension de la vapeur qui se trouve légèrement réduite par suite de cet accroissement de diamètres.

Poids de la maîtresse tige. Calcul du contre-poids. — Le poids total de la maîtresse tige est, d'après le projet, de. . . . . kilog. 124.000
auxquels il faut ajouter :

5 plongeurs avec traverses et heurtoirs. . . .	20.000
2 pistons à vapeur avec tiges et traverse. . .	10.000
24 garnitures de guidonnage.	7.200
C'est donc un poids effectif total de.	161.200

auquel vient s'ajouter pendant la détente, pour produire le refoulement, l'effort moyen exercé par la vapeur sur le piston. Cet effort est de 71.500 kilog. $= \frac{226.000}{3^m,16}$, puisque le travail de la course entière est de 226.000 kilogrammètres et que la course est de $3^m,16$.

L'effort total qui tend à faire maîtresse tige au commencement de la course des piston pendant serait donc de 161.200 + 71.500 kilog. = ... 232.700

C'est-à-dire qu'il excéderait la résistance à vaincre, résistance qui, d'après les calculs précédents, s'éleverait à. 124.850

de 107.850

Pendant la levée des tiges c'est l'inverse qui se produit. En effet, l'effort à développer est égal au poids total de la maîtresse tige et de ses dépendances, poids qui est de 161.200 kilog., auquel il faut ajouter l'effort nécessaire

pour soulever les colonnes d'eau aspirées ou soulevées par le jeu soulevant et les 5 aspirations des jeux foulants et vaincre toutes les résistances, c'est-à-dire, d'après les calculs faits précédemment, 18.017 kilog.

L'effort total à produire au moment de la levée est donc de 179.217. Or l'effort exercé par la vapeur sur le piston n'est que de 71.500 kilog., c'est-à-dire qu'il est inférieur à l'effort nécessaire pour produire le mouvement de 107.717 k.

Ce poids d'environ 108.000 kilogrammes, qui se trouve en trop au moment de la descente des tiges et en moins au moment de leur levée, résulte des dimensions qu'on est obligé de donner à la maîtresse tige pour la faire suffisamment résistante; pour en annuler l'influence nuisible, on suspend un poids égal à l'extrémité du balancier établi au-dessous de la machine d'épuisement comme l'indique la *fig.* 6 de la Pl. III, et dont l'autre extrémité est reliée par une bielle à la maîtresse tige. Ce balancier qui est en tôle, sert en même temps à transmettre le mouvement aux poutrelles de distribution et aux pistons des pompes à air. Il pèse lui-même environ 30.000 kilogrammes.

L'établissement de ce contre-balancier d'équilibre et du poids qu'il porte à son extrémité est d'absolue nécessité avec une machine à double effet toutes les fois que la profondeur de l'épuisement conduit à donner à la maîtresse tige des dimensions telles qu'elle pèse plus que la moitié de la colonne d'eau à refouler, mais il procure deux avantages très-importants qui compensent largement les frais de son établissement.

De ces avantages, le premier est de faire que la maîtresse tige n'est jamais soumise à des efforts de compression exercés par la vapeur. En effet, son poids propre suffisant parfaitement et au delà à produire le refoulement de l'eau dans les colonnes montantes, on voit que le rôle de la vapeur admise au-dessus du piston est purement et simplement d'annuler le poids porté par le contre-balancier, et de

rendre libre la partie du poids de la maîtresse tige qu'il équilibrait. Grâce à cela, toute la partie de la maîtresse tige située au-dessous de l'attelage du balancier travaille absolument comme la maîtresse tige d'une machine à simple effet, c'est-à-dire à la traction pendant la levée, et pendant la descente, elle n'est comprimée que par son propre poids.

Le second avantage est de permettre un emploi très-prolongé de la détente, grâce aux masses en mouvement dont l'importance se trouve considérablement accrue.

III. — Conditions de marche de la machine. — Diagrammes obtenus.

Pour se bien rendre compte des avantages de la machine que nous venons de décrire, il est indispensable d'étudier les conditions dans lesquelles elle marche en comparant le travail de la puissance au travail des résistances de toutes natures. Pour cela le moyen le plus simple est évidemment de les représenter graphiquement l'un et l'autre.

Diagramme du travail. — Le travail des résistances est sensiblement uniforme; il correspond à un effort moyen de 71.500 kilogrammes, ainsi que nous l'avons établi précédemment; il sera donc représenté dans le diagramme du travail, *fig.* 11 de la Pl. III, par le rectangle *f*, *g*, *h*, *e*, dans lequel la base *f*, *e* représente la course de $3^{m},16$, et l'ordonnée *f*, *g* représente à la même échelle 71.500 kilogrammes.

Quant au travail de la vapeur, il sera représenté par la surface *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, dont le contour supérieur a été construit par points, en calculant l'effort exercé par la vapeur sur les deux pistons à dix moments également espacés de la course.

D'après la figure, on voit que jusqu'au point *m* de la course, il y a excès de la puissance sur la résistance, et qu'à partir de ce point, l'inverse se produit. Mais l'ensemble du travail de la puissance devant être égal à celui de la résistance jusqu'à la fin de la course, la vitesse des masses en

mouvement devenant nulle, les deux surfaces *agb* et *b, c, d, h* sont équivalentes.

En admettant, ce qui est vrai dans le cas présent, que le diamètre intérieur des tuyaux de refoulement soit égal au diamètre des plongeurs, et que les deux bras du contre-balancier soient égaux, toutes les masses en mouvement sont sensiblement animées de la même vitesse V, et si l'on désigne par T le nombre des kilogrammètres représentés par l'une des surfaces équivalentes *agb* ou *b, c, d, h*, c'est-à-dire la différence entre le travail moteur et le travail résistant, et par P le poids total des masses en mouvement, on aura pour le point *m* de la course où la résistance devient égale à la puissance, et où par conséquent la vitesse V atteint son maximum :

$$T = \frac{PV^2}{2g},$$

d'où

$$V^2 = 19{,}62 \times \frac{T}{P}.$$

Cette formule établit la relation nécessaire entre la vitesse des masses et le travail qu'elles doivent emmagasiner ; or, il est reconnu dans la pratique que la vitesse ne peut, sans inconvénient pour la marche des pompes, dépasser $1^m,40$ à $1^m,70$; il convient donc de rester dans ces limites pour déterminer le rapport $\frac{T}{P}$.

Pour avoir un résultat rigoureusement exact, il aurait fallu déterminer le moment d'inertie de toutes les pièces qui oscillent autour de l'axe du balancier. Mais pratiquement on peut se dispenser de ces calculs fort longs, parce que la plus grande partie du poids du balancier étant concentrée autour de son axe, on peut négliger son influence, et quant au contre-poids, on s'écarte peu de la vérité en prenant pour sa force vive la vitesse de son centre de gravité.

Dans la relation qui vient d'être établie,

V est limité à $1^m,70$ qui est le maximum admissible dans la pratique.

T croît avec la détente, puisqu'il dépend de l'écart existant entre l'effort développé par la vapeur au commencement de la course et l'effort moyen représentant les résistances à vaincre, écart qui sera d'autant plus grand que la détente commencera plus tôt. Au point de vue de la dépense de vapeur, il y a donc avantage à ce que T ait une plus grande valeur numérique.

P peut donc être augmenté sans crainte, et doit même l'être quand la détente est prolongée. De telle sorte que le contre-poids indispensable aux machines à double effet pour réduire dans les puits profonds le poids libre de la maîtresse tige à la moitié du poids de la colonne d'eau à refouler, se trouve très-favorable à l'emploi économique de la vapeur. L'économie permanente réalisée de ce fait compense et au delà les frais d'établissement de ce contre-balancier.

Dans la machine établie au puits Tuhan,

$$T = 17.000 \text{ kilogrammètres,}$$

et le poids P des masses en mouvement se compose comme suit :

1° *Pendant la levée :*

	kilog.
De la maîtresse tige et de ses dépendances. . .	161.200
Du contre-poids.	107.800
Des colonnes d'eau aspirées et soulevées. . . .	6.250
On a donc pour P.	275.250

2° *Pendant la descente :*

	kilog.
De la maîtresse tige et de ses dépendances. . .	161.200
Du contre-poids.	107.800
Des colonnes d'eau refoulées.	113.500
On a donc pour P.	382,500

Transportant ces deux valeurs dans la relation

$$V^2 = 19{,}62 + \frac{T}{P},$$

on trouve pour la vitesse maxima V :

A la levée. . . . . 1^m,100
A la descente. . . . . 0^m,935

Ces deux valeurs sont notablement inférieures à celles qu'on peut admettre couramment : la détente qui, pour le calcul de la machine, a été fixée dans le rapport de 1 à 4, peut donc être poussée plus loin. Ce qui est très-facile à réaliser en augmentant la pression initiale de la vapeur et en réduisant l'admission dans le petit cylindre. On a disposé le mécanisme de la distribution de manière qu'on puisse faire varier l'admission de la vapeur à volonté.

Ce qui précède montre que le meilleur moyen d'utiliser la vapeur est celui qui permet de détendre le plus possible pour une même valeur de T. Cela étant, les machines à double effet qui doublent l'importance de P par rapport à celle de T, avec détente du système Woolf qui réduit l'écart entre les efforts développés par la vapeur au commencement et à la fin de la course, est la machine à préférer quand il s'agit d'actionner des pompes d'épuisement par maîtresse tige, avec une machine à mouvement alternatif sans volant.

Diagrammes relevés sur la machine. — A côté de ce diagramme théorique montrant pour chaque instant de la course les valeurs relatives de la résistance et de la puissance, il est intéressant de donner les diagrammes relevés sur la machine elle-même, diagrammes donnant pour chacun des cylindres et pour chacune des faces des pistons le travail réellement développé par la vapeur. Ces diagrammes n'ayant pas été relevés simultanément sur les quatre faces des deux pistons, ne sont pas complétement concordants puisqu'ils se rapportent à des courses diffé-

rentes, mais ils n'en représentent pas moins d'une manière très-claire la marche de la machine.

Prenons-les donc un à un et résumons rapidement les diverses circonstances qu'ils révèlent :

Dans le diagramme n° 1, relevé sur le *petit cylindre en dessous du piston*, la pression qui est égale à la pression atmosphérique au commencement de la course ascendante monte de *a* en *b* lors de l'ouverture de la soupape d'admission, pour redescendre ensuite graduellement jusqu'en *c*, point où la soupape d'admission venant à se fermer, la détente commence. La diminution de pression révélée pendant la période d'admission par l'inclinaison de la ligne *bc* par rapport à la ligne atmosphérique, vient de ce que la vapeur n'arrive dans le cylindre qu'après avoir traversé l'enveloppe de vapeur, la soupape d'admission qui sert de modérateur se trouvant entre les chaudières et l'enveloppe. Par suite de cette disposition, au commencement de la course, la pression dans l'enveloppe est sensiblement égale à la pression dans les chaudières par suite du temps d'arrêt qui a précédé la mise en marche des pistons. Dès que l'ascension commence, la vapeur se détend dans l'enveloppe parce que la vapeur subit un étirage très-sensible en traversant le modérateur, dont l'ouverture est réglée de manière à n'avoir dans le cylindre que la pression voulue par le travail à produire.

La détente réelle ne commence qu'en *c*, c'est-à-dire lorsque le piston a parcouru environ 0,60 de la course totale. La pression de la vapeur qui, au commencement de la période d'admission réelle, est normalement de $3^k,70$ par centimètre carré, n'est plus que de 3 kilogrammes à la fin de cette période.

A la fin de la course — en *d* — la pression est de $1^k,60$.

Puis, dès que s'ouvre la soupape d'échappement — en *e* — elle tombe à $0^k,40$ par suite de l'introduction de la vapeur dans le grand cylinere où elle va se détendre.

Cette chute de pression si considérable tient à l'espace nuisible qui sépare les deux pistons, espace nuisible qui, au moment des expériences, se trouvait considérablement augmenté par le fait que la course des pistons n'était que de 3 mètres, alors qu'elle doit être de $3^m,16$. Il y avait donc derrière chaque piston $0^m,08$ de jeu en trop qui créaient un espace nuisible exagéré.

Pendant la descente — de *e* en *f* — la tension de la vapeur décroît continuement de $+0^k,40$ à $-0^k,40$, pression qu'elle atteint à la fin de la course. La fermeture de la soupape d'échappement coïncide exactement avec la fin de la course de telle sorte qu'il n'y a point de compression.

Si on se reporte au diagramme n° 2, relevé sur le *grand cylindre en dessus du piston*, on constate pendant la descente, de *a* en *b*, les faits déjà révélés par la ligne *ef* du diagramme n° 1. C'est-à-dire que la pression décroît exactement de 1 kilogramme par centimètre carré du commencement à la fin de la course descendante.

Pendant la levée des tiges, au départ, la soupape de condensation s'ouvre et la pression tombe de *b* en *c*, de $-0^k,60$ à $-0^k,90$. Pendant toute la première partie de l'ascension, la vapeur se rend dans le condenseur qui donne un vide de $0^m,70$ à $0^m,75$ de mercure, et la tension de la vapeur décroît continûment jusqu'en *d* où elle atteint son minimum de $0^k,99$. A ce moment, c'est-à-dire lorsque le piston a parcouru environ 0,90 de sa course ascendante, la communication avec le condenseur est fermée, et il se produit de *d* en *e* jusqu'à la fin de la course une compression qui ramène la vapeur restant au-dessus du piston à la tension de $+0^k,60$, qu'elle avait au commencement de la descente.

Les diagrammes n° 3 et n° 4 révèlent la même série de phénomènes pour le petit et le grand cylindre, mais pour les faces inverses, c'est-à-dire que le diagramme n° 3, relevé sur le *petit cylindre en dessus du piston*, et le dia-

gramme n° 4, relevé sur le ***grand cylindre en dessous du piston***, montrent les variations successives qui se produisent dans la tension de la vapeur admise à pleine pression en dessus du piston du petit cylindre pendant la descente venant, pendant la levée des tiges, se détendre dans le grand cylindre en dessous du piston, et s'échappant dans le condenseur pendant la descente. Comme j'ai conservé sur ces diagrammes les lettres portées par les deux premiers, avec leur signification primitive, il sera facile de les interpréter.

Effet utile de la machine. — Si rapprochant les deux diagrammes n° 1 et n° 4 pris sur les faces inférieures des deux pistons, et prenant pour les pressions au-dessus des pistons les tensions moyennes résultant des diagrammes n° 2 et n° 3, relevés sur les faces supérieures, puisque des constatations simultanées n'ont pu avoir lieu, on calcule le travail développé par la vapeur pour le comparer au travail réellement effectué en tenant compte du poids des tiges, du contre-poids et des colonnes d'eau, on trouve que l'effet utile de la machine est de 92 p. 100 à la levée des tiges et de 87 p. 100 à la descente. C'est-à-dire que l'effet utile moyen de cette machine est d'environ 89,5 p. 100.

C'est là un rendement excellent; il est d'autant plus remarquable que lorsque les diagrammes ont été relevés, la machine ne marchait qu'à course incomplète, et à un nombre de coups très-réduit.

La machine est faite pour marcher normalement à 7 ou 8 coups par minute, avec une course de $3^m,16$, et lors des essais de mise en marche, c'est dans ces conditions que la machine a fonctionné.

Cette vitesse de 8 coups peut être réalisée sans augmenter la vitesse des tiges, qui dépend uniquement de la pression de la vapeur et du degré d'admission : c'est par la durée des temps d'arrêt qu'on règle le nombre de coups, en agissant sur la cataracte.

Paris, mai 1875.

DESCRIPTION

DE

QUELQUES TRANSMISSIONS PAR CABLES MÉTALLIQUES

Par M. ARTHUR ACHARD, ingénieur, ancien élève de l'École des mines.

L'étude théorique dont les transmissions par câbles métalliques ont été l'objet dans ce recueil (tome VI, p. 131 à 175 et p. 343) nous semble pouvoir être utilement complétée par quelques détails sur des applications importantes qui en ont été faites en vue de mettre à profit des forces hydrauliques précédemment sans emploi (*).

Oberursel. — La plus ancienne des installations que nous décrirons a été établie en 1861 à Oberursel, près

(*) Nous nous bornons aux transmissions par câbles dans cette description destinée à compléter une étude plus générale, parce qu'il nous paraît y avoir seulement là une lacune à remplir, et que d'ailleurs ce sont les seules qui aient été employées en dehors de toute spécialisation dans la nature du travail mécanique à effectuer.

Pour les transmissions par l'air comprimé, nous renvoyons aux nombreuses publications concernant le tunnel du mont Cenis, aux articles que les *Annales industrielles* publient sur celui du Saint-Gothard, et aux diverses descriptions des percements de galeries au rocher faites par ce procédé à Mariehaye, Ronchamp, etc. Quant aux transmissions hydrauliques, celles du premier genre n'exigeraient que la description des récepteurs, et tous les détails utiles sur celles du second sont renfermés dans l'intéressante notice de M. Barret sur les docks de Marseille. Nous réparerons ici une omission en indiquant pour celles-ci d'autres applications qui rentrent, à vrai dire, dans le levage des fardeaux : nous voulons parler des manœuvres mécaniques qui interviennent dans la fabrication de l'acier Bessemer et dans le coulage des tuyaux de fonte *debout*.

Les notations de l'article précité seront employées dans ce qui va suivre et ne seront pas définies à nouveau.

de Francfort-sur-le-Mein, sous la direction de M. D. H. Ziegler (*), pour transmettre à une filature la force d'une chute d'eau haute de 80m,40, débitant de 54 à 144 litres d'eau par seconde, suivant la saison. Cette chute est utilisée par une turbine de la variété dite *roue tangentielle* (**), dont le mouvement est transmis par un engrenage conique à l'arbre horizontal porteur de la poulie motrice, laquelle fait 114 ½ tours par minute. La transmission est inclinée et descendante. Elle est subdivisée en huit relais par sept stations de relais montées sur piliers. Les sept premiers relais ont chacun 120 mètres horizontalement, le dernier 121m,20, en sorte que la distance horizontale entre les axes des poulies motrice et réceptrice est de 961m.20. Les inclinaisons totales sont les suivantes :

	mètres.
1er relais	9,300
2e —	6,254
3e —	5,477
4e —	4,675
5e —	4,360
6e —	3,580
7e —	5,610
8e —	5,150
en sorte que	44,406

est la hauteur dont l'axe de la poulie réceptrice est en *dessous* de celui de la poulie motrice.

(*) M. Ziegler est l'ingénieur en chef de la maison J. J. Rieter à Töss près Winterthur (canton de Zurich), qui a organisé et construit les installations dont il est question dans cette notice. Nul n'a plus contribué que lui à étendre et à perfectionner les transmissions par câbles ; il est l'inventeur de la poulie à double gorge, de l'engrenage différentiel et de la machine à étirer les câbles. Nous devons à son extrême obligeance plusieurs des renseignements contenus dans cet article, en particulier tous ceux qui sont relatifs à Oberursel et à Fribourg.

A l'exception d'Oberursel, nous avons visité nous-même tous les établissements ici décrits.

(**) La couronne de cette roue tangentielle a 2m,206 de diamètre

Les poulies ont toutes $3^m,750$ de diamètre à la gorge. Celles de relais pèsent avec leur axe 1.264 kilog., sauf pour la septième station, où il y a en outre une poulie pour dérivation de force, et dont l'axe est par conséquent plus fort. Le câble est composé de 6 torons à 6 fils de $1^{mm},5$ de diamètre. L'effort de flexion est :

$$\zeta = 20.000 \frac{1,5}{3750} = 8 \text{ kilog.},$$

et l'on a admis comme limite de tension totale 18 kilog., en sorte qu'on s'est donné pour la tension σ_1 aux extrémités des brins conducteurs 10 kilog.

La vitesse du câble est :

$$\frac{\varpi \times 3^m,75 \times 114,5}{60} = 22^m,50.$$

Sa section métallique est :

$$\omega = \frac{\varpi}{4} \times (1,5)^2 \times 36 = 63,6 \text{ millimètres carrés,}$$

ce qui, pour $\sigma_1 = 10$, correspondrait à une tension de 636 kilog. aux extrémités du brin conducteur, en admettant l'horizontalité. Le nombre de chevaux susceptible d'être transmis est approximativement :

$$\frac{636 \times 22,50}{2 \times 75} = 95,4,$$

ce qui est à peu près la force ordinaire de la turbine dont il s'agit. Pour le câble en question, on a $\frac{\omega}{p} = 107$, en sorte que $p = \frac{63,6}{107}$, soit environ $0^k,600$. L'écart que

---

extérieur, $0^m,930$ de diamètre intérieur et $0^m,17$ de hauteur. La vitesse normale est de 264 tours par minute. Le rendement est de 65 à 70 p. 100.

l'inclinaison produit entre les tensions extrêmes d'un même brin est donc, en ce qui concerne le premier relais, qui est le plus incliné de tous, de $0^k,600 \times 9^m,30 = 55^k,8$ pour le câble entier, et de $\frac{55^k,8}{63,6} = 0^k,87$ par millimètre carré.

En négligeant l'inclinaison, la flèche qui correspondrait à la tension $\sigma_1 = 10$ kilog. serait de $1^m,68$.

Les garnitures de gorge en gutta-percha, que M. Ziegler avait primitivement adoptées pour Oberursel, ont eu peu de durée, et il les a remplacées par des garnitures en cuir debout qu'il a dès lors exclusivement employées.

Schaffouse. — Cette ville industrieuse est située sur la rive droite du Rhin, à quelques kilomètres en amont de la célèbre chute. On a cherché à utiliser la force hydraulique que ce fleuve présente dans son parcours le long de la ville. Les travaux exécutés dans ce but de 1862 à 1864 par une société, dont le principal fondateur a été feu M. Henri Moser, de Charlottenfels, constituent un ensemble des plus remarquables, en raison des difficultés qui ont dû être surmontées (*).

Un barrage de retenue (Pl. IV, *fig.* 1) a été établi entre les deux rives du Rhin, sur un fond de rocher très-inégal et déchiré par de nombreuses fissures. Il est formé de pieux en fer rond de $0^m,10$ de diamètre, revêtus chacun d'une enveloppe en fonte qui y est solidement fixée par des vis. Ces enveloppes portent de fortes nervures sur lesquelles les poutres de bois composant le barrage sont appliquées par la pression du courant. Des précautions spéciales ont dû être prises pour fermer tant bien que mal

(*) Sur ces travaux il faut consulter l'intéressante notice publiée par Kronauer, dans la *Schweizerische polytechnische Zeitschrift*, 1867. Elle fournit peu de détails sur les câbles eux-mêmes. Nous sommes redevable de la plupart de ceux que nous donnons ici à la complaisance d'un savant ingénieur de Schaffouse, M. Amsler, bien connu pour sa belle invention du planimètre polaire.

les dépressions et les fissures qui se rencontrent souvent d'un pieu à l'autre.

Les moteurs sont établis dans une chambre construite dans le lit même du Rhin, du côté de la rive gauche. Le terrain se trouvait là plus propre à recevoir cette construction qu'il ne l'est vers la rive droite, sur laquelle la ville est bâtie. Ces moteurs consistent dans trois turbines Jonval alignées parallèlement à l'axe du fleuve : leur mouvement est communiqué par engrenages coniques à un arbre horizontal, dont l'axe se trouve dans le plan qui contient ceux des turbines. Les roues d'angles montées sur celles-ci peuvent être abaissées ou élevées à volonté, ce qui permet d'arrêter n'importe laquelle des turbines en laissant fonctionner les autres.

Du bâtiment des moteurs part un canal de fuite qui, étant placé dans le lit du fleuve, est complétement fermé. Au commencement il est en maçonnerie et voûté sur une longueur de 15^{m},60. Sur le reste du parcours, il est creusé dans le roc et recouvert d'un solide platelage. L'existence de crevasses transversales à sa direction a beaucoup ajouté aux difficultés de cet ouvrage.

Le travail net des 3 turbines réunies est de 750 chevaux, dont 483 sont utilisés maintenant. Sur ce nombre, 152 chevaux sont détachés pour être envoyés, partie sur la rive gauche par un axe rigide, partie sur la rive droite par un petit câble qui traverse le Rhin un peu en aval des grands câbles dont il va être question (*). Le surplus, soit 331 chevaux, est l'objet de la transmission principale à destination des usines de la ville. Elle se fait par l'intermédiaire des stations de relais P_1, P_2, P_3 et P_4 jusqu'à la station extrême P_5 et comprend 5 relais dont le premier traverse le Rhin tandis que les quatre autres longent la rive droite. Leurs longueurs sont : des turbines à P_1, 117^{m},6; de P_1 à P_2,

(*) Ces dérivations ne sont pas indiquées sur la *fig*. 1, Pl, IV.

115^m,2; de P_2 à P_3, 101^m,4; de P_3 à P_4 139 mètres, et de P_4 à P_5, 135^m,5.

Le premier relais s'étend des moteurs à la station P_1 située à l'autre extrémité du barrage. L'arbre horizontal commandé par les turbines porte à son extrémité et par l'intermédiaire de l'engrenage différentiel déjà décrit (t. VI, p. 172) deux poulies qui sont affectées chacune à un câble, et qui, ainsi que toutes les autres poulies de l'installation, ont 4^m,50 de diamètre. Leurs plans médians sont écartés de 1^m,50. Elles correspondent avec deux poulies montées sur un même arbre, à la station P_1.

Les deux câbles sont identiques et sont formés de 8 torons comprenant chacun 10 fils de 1^{mm},85 de diamètre. On a donc pour effort moléculaire dû à l'enroulement :

$$\zeta = 20.000^k . \frac{1,85}{4500} = 8^k,22.$$

La tension nécessaire pour transmettre les 331 chevaux utilisés est, avec l'approximation usitée :

$$T = \frac{2 \times 75 \times 331}{18,85} = 2634 \text{ kilog.},$$

18^m,85 étant la vitesse du câble. Comme $\omega = 215^{mm^2}$, la tension par millimètre carré aux extrémités du brin conducteur est $\sigma_1 = \frac{T}{\omega} = 12^k,25$ quand un seul câble transmet tout le travail, et alors $\sigma_1 + \zeta = 20^k,47$. Pour que chacun des câbles puisse suffire en cas de rupture de l'autre, la tension nécessaire à la transmission de tout le travail par un seul doit être réalisée pour chacun par les grandeurs assignées aux flèches à l'état de repos. Ces efforts sont très-élevés. Aussi, quand on voudra transmettre une partie notable de la force qui demeure encore disponible, il sera nécessaire de prendre des câbles plus forts.

A la station P_1, la direction de la transmission change et de transversale devient parallèle à la rive droite. Aussi comprend-elle deux arbres portant chacun deux poulies à une gorge et reliés par un engrenage conique. Pour les trois relais subséquents, la direction ne change pas : les stations P_2 et P_3 sont situées dans l'alignement P_1 P_4 ; elles se composent chacune de deux poulies à double gorge montées sur un même arbre. A la station P_4 correspond un changement de direction nécessité par un léger coude du fleuve. Les deux poulies de P_2 sont reliées entre elles par l'engrenage différentiel ; il en est de même de celles de P_3 et de celles du premier arbre principal de P_4.

Les stations P_1, P_2 et P_3 distribuent de la force ; mais c'est à P_4 que la plus grande quantité est détachée. Aussi le câble est identique jusqu'à P_4 à ce qu'il est entre les moteurs et P_1. Le second arbre principal de P_4 ne porte pour le moment qu'une seule poulie, et de P_4 à P_5 il n'y a qu'un câble. Ce câble est plus faible que le premier. Il se compose de 6 torons formés de 12 fils de $1^m,7$ et donne :

$$\zeta = 20.000 . \frac{1,7}{4500} = 7^k,5,$$

en sorte que sans dépasser pour $\sigma_1 + \zeta$ le chiffre de 15 kilog., on peut se donner $\sigma_1 = 7^k,5$ et transmettre par son moyen un nombre de chevaux exprimés par :

$$N = \frac{7.5 \times 166 \times 18.85}{2 \times 75} = 176 \text{ chevaux},$$

166 étant la valeur de ω.

Toutes les stations sont montées sur des piliers de maçonnerie construits dans le lit du Rhin. Les *fig.* 2 et 3 (Pl. IV) donneront une idée de P_4 qui est la plus compliquée. La petitesse de l'angle dont la direction change a empêché de relier directement les deux arbres à cause de la place que prennent les poulies ; il a fallu intercaler un arbre intermé-

diaire porteur d'une roue d'angle engrenant avec celles des arbres principaux. On voit sur la figure comment ceux-ci sont utilisés pour détacher de la force; ainsi le premier arbre en envoie partie par une petite poulie à câble, partie par un axe rigide. Du reste, cette station est modifiée en ce moment de manière que l'arbre intermédiaire soit aussi utilisé dans le même but.

Il convient d'ajouter ici à ce qui a été dit de l'engrenage différentiel (t. VI, p. 172) quelques mots sur la manière dont cet organe fonctionne quand l'un des câbles se casse et que l'autre a toute la force à transmettre.

Si le câble de la poulie A′ (voir t. VI, Pl. V, *fig.* 12) se casse, comme les dents des deux pignons *c* et *c′*, qui sont libres sur le tourillon en croix, ne rencontrent plus de résistance du côté de celles de la roue *a′* faisant corps avec A′, ces deux pignons se mettent à rouler sur la roue dentée *a* qui fait corps avec la poulie A, et celle-ci est amenée au repos avec son câble, tandis que l'arbre horizontal portant le tourillon tend à prendre une vitesse accélérée, par le fait que les moteurs sont entièrement déchargés. Mais les turbines de Schaffouse sont munies d'un régulateur et d'un appareil de sûreté gouverné par celui-ci et disposé de telle sorte que, lorsque la vitesse de l'arbre horizontal excède une certaine limite, un frein est mis en jeu et agit sur une poulie-frein montée sur cet arbre de manière à arrêter celui-ci, en même temps que l'admission de l'eau sur les turbines est coupée. Ainsi, dans le cas dont il s'agit, tout le système sera, au bout de peu d'instants, amené au repos, et l'on en profite en premier lieu pour enlever le câble rompu. Ensuite il faut, pour transmettre la force au moyen du seul câble de la poulie A, caler sur l'axe cette poulie qui est habituellement folle. A cet effet le tourillon en croix porte à ses naissances, et parallèlement à l'axe de rotation de l'arbre horizontal, deux forts goujons d'acier qui sont habituellement cachés dans son inté-

rieur : il suffit de faire avancer ces deux goujons de manière que leurs extrémités viennent se loger dans deux cavités que présente à cet effet la roue *a*. Des vis de pression servent à rendre invariable la position qu'on assigne aux goujons. Il va sans dire que ceux-ci seraient, au contraire, déplacés du côté de la roue dentée *a'* si c'était le câble de la poulie A qui s'était cassé.

Les déviations de force sont marquées sur la *fig.* 1 par un trait pointillé. Elles se font partie par câbles (indiqués par les lettres *c*), partie par axes rigides. Ceux-ci sont logés dans des canaux maçonnés qui passent sous les trottoirs et qui sont recouverts de dalles de pierre ; des ouvertures munies de regards en fonte sont ménagées partout où il y a des roues et des paliers afin de permettre le nettoyage et le graissage. Les emplacements où la force est utilisée sont indiqués par des hachures serrées (*).

A Schaffouse, où la force motrice est assez subdivisée, l'emploi de l'air comprimé et celui de l'eau sous pression auraient pu entrer en concurrence avec celui des câbles. Il n'en est pas de même pour les deux établissements plus récents dont nous allons parler, au moins dans le stage incomplet de développement où ils se trouvent encore aujourd'hui ; vu le peu de fractionnement du travail à transmettre, les câbles étaient évidemment la meilleure solution.

Fribourg. — La ville de Fribourg est située sur un pro-

(*) Les chiffres suivants indiquent le développement que la distribution de la force a pris à Schaffouse dès l'origine de l'entreprise :

ANNÉES.	FORCE LOUÉE.	PRODUIT EN ARGENT.
	chevaux.	francs.
1867	121	8.600
1868	150	14.619
1869	180	18.304
1870	254	20.777
1871	293	30.390
1872	337 1/2	37.880
1873	350 1/4	41.406
1874	483 1/4	57.784

montoire que contourne la vallée profonde et encaissée de la *Sarine*, affluent de l'*Aar*. Elle est le chef-lieu d'un canton agricole et forestier, dans lequel sa municipalité possède une grande étendue de bois. En 1869, une société, dite *Société générale suisse des eaux et forêts*, fut fondée par M. G. Ritter dans le but de tirer parti simultanément des forêts de la commune de Fribourg et de la force hydraulique de la Sarine, en faisant servir l'exploitation de celle-ci à celle des forêts, et dans celui de créer accessoirement d'autres industries. Son programme reposait avant tout sur l'établissement d'une transmission télédynamique destinée à amener la force motrice du fond de la vallée jusque dans des localités faciles à mettre en communication avec la gare qui se trouve située tout au-dessus de la ville.

La force motrice a été aménagée par la création, un peu en amont de Fribourg, d'un barrage transversal, construit exclusivement en béton de chaux hydraulique, épais de 30 mètres à la base et de 6 mètres au couronnement. Ce barrage, qui procure une chute d'environ $10^{m},50$, a transformé le lit de la Sarine, sur une certaine longueur en amont, en un vaste réservoir auquel on a donné le nom de *lac de Pérolles*, et dont la capacité permet de compenser, au point de vue de la force motrice, les grandes variations de débit que présente ce cours d'eau torrentiel. Un canal de décharge, formant déversoir de surface, a été creusé dans le rocher vers la rive gauche. L'usine est bâtie vers la rive droite, sa grande longueur étant perpendiculaire au barrage et formant un prolongement en retour de celui-ci. Elle contient aujourd'hui deux turbines Girard, dont l'une actionne des pompes élévatoires pour le service hydraulique de la ville, tandis que l'autre fournit la force motrice à transmettre au loin; une place est réservée pour une troisième turbine destinée encore à ce dernier objet. Il y a de plus une petite turbine de service destinée à manœuvrer des vannes de fond pour vider et curer le lac.

La turbine dont il s'agit de transmettre le travail a une puissance nette de 300 chevaux. Cette force est d'abord envoyée jusqu'à une grande scierie située sur la rive gauche, par une ligne unique de câbles et suivant une ligne inclinée subdivisée en cinq relais par quatre stations P_1, P_2, P_3 et P_4. (Pl. IV, *fig.* 4 et 5.)

La station P_1 est établie sur un pilier construit dans l'île qui sépare le barrage d'avec le canal de décharge ; P_2 est établie dans un tunnel très-haut et très-étroit qu'on a creusé dans une colline de mollasse pour le passage du câble et qui n'est pas maçonné ; P_3 est une station à changement de direction, dont le pilier a sa base sur la berge escarpée de la Sarine. Le pilier suivant P_4 est également sur un terrain accidenté. Enfin nous désignerons par P_5 la station réceptrice placée à l'entrée de la scierie en sous-sol. Les poulies de ces stations ont toutes $4^m,50$ de diamètre.

Le câble qui dessert cette ligne pèse $2^k,235$ par mètre courant et se compose de 10 torons à raison de 9 fils de $1^{mm},8$ par toron. L'effort d'enroulement est par conséquent :

$$\zeta = 20.000 . \frac{1,8}{4500} = 8 \text{ kilog.}$$

Les poulies faisant 81 tours par minute, on a pour vitesse du câble :

$$v = \frac{\varpi \times 4^m,50 \times 81}{60} = 19^m,80.$$

La tension nécessaire pour transmettre 300 chevaux est

$$T = \frac{2 \times 75 \times 300}{19,08} = 2358 \text{ kilog.},$$

ce qui, pour $\omega = 229$, donne $\sigma_1 = \frac{T}{\omega} = 10^k,3$.

L'axe de la poulie réceptrice est situé à 82 mètres plus

haut que celui de la poulie motrice, et en est séparé par une distance horizontale de 765 mètres. Ces deux distances verticale et horizontale se répartissent également entre les cinq relais, en sorte que les axes de deux poulies consécutives sont distants l'un de l'autre de 153 mètres horizontalement et de 16^m,40 verticalement. Le rapport de ces deux distances permet tout à fait l'assimilation de la courbe du câble à une parabole. En effet, si l'on suppose $n = 0$, ce qui est très-voisin de la vérité pour les deux brins de chaque relais et d'ailleurs simplifie le calcul, on a, dans l'hypothèse de la parabole :

$$\frac{S_0}{p} = \frac{l^2}{2H} = \frac{153^2}{2 \times 16,4} = 713,7,$$

et si l'on introduit cette valeur dans l'équation de la chaînette :

$$y = \frac{S_0}{2p}\left(e^{\frac{px}{S_0}} + e^{-\frac{px}{S_0}} - 2\right),$$

en y faisant $x = 153$, on trouve :

$$y = \frac{713,7}{2}\left(e^{\frac{153}{713,7}} + e^{-\frac{153}{713,7}} - 2\right) = \frac{713,7}{2}(1,2391 +$$
$$+ 0,8071 - 2) = 16^m,48,$$

valeur si peu supérieure à la vraie valeur de H qu'on peut en conclure que 713,7 n'est pas sensiblement inférieur à la vraie valeur de $\frac{S_0}{p}$.

Cela étant admis, comme on sait que $\frac{S_1}{p} = \frac{2358}{2,235} = 1.055$ pour le brin conducteur, on obtiendra la valeur de n relative à ce brin en se servant de l'équation

$$\frac{S_1}{p} = \frac{l^2}{2(H - nl)}\sqrt{1 + n^2},$$

qui donne : $n = +\ 0,03464$.

Pour le brin conduit, la valeur de $\frac{S'_1}{p}$ est, comme on sait, la moitié de celle de $\frac{S_1}{p}$, et la valeur correspondante de n est :

$$n' = -\ 0,03795.$$

Ces valeurs de n et n' supposent, bien entendu, que les tensions nécessaires à la transmission ne sont pas dépassées.

A l'extrémité supérieure du brin conducteur, on aura :

$$S_2 = S_1 + pH = 2358 + 2,235 \times 16,4 = 2395 \text{ kilog.}$$

et

$$\sigma_1 = \frac{2395}{229} = 10^k,46,$$

ce qui fait par millimètre carré à peine $0^k,16$ de plus qu'au bas du brin.

La poulie de la station réceptrice P_8 transmet son mouvement :

D'une part, par des engrenages d'angle : 1° à un axe parallèle à la petite dimension de la scierie et faisant mouvoir une partie des engins de celle-ci ; 2° à un petit câble qui dessert un plan incliné funiculaire (*) ;

D'autre part, par un engrenage cylindrique à un arbre horizontal qui règne longitudinalement dans tout le sous-sol de la scierie, et qui actionne le plus grand nombre des machines à débiter le bois. Cet arbre a 69 mètres de longueur et fait 150 tours par minute. Son diamètre, qui va en diminuant à mesure que la force est prise par les machines, est de 162 millimètres en commençant et de 120 millimètres en finissant.

(*) Ce plan incliné est la terminaison du chemin de fer qui met en communication avec la gare de Fribourg les usines où la force des câbles est utilisée. Il aboutit au bord de la partie supérieure du lac de Pérolles et sert à monter à la scierie les bois qui arrivent par flottage sur la Sarine.

Sur les 300 chevaux transmis par le câble, 50 sont pris par le plan incliné et 130 par la scierie. Une nouvelle transmission funiculaire sert à conduire plus loin le surplus, soit 120 chevaux. Elle commence à une poulie réceptrice P_6, qui reçoit son mouvement par des roues d'angle du grand arbre longitudinal, et dont l'axe est perpendiculaire à celui de P_5. Elle comprend d'abord trois relais en ligne droite P_6P_7, P_7P_8 et P_8P_9 pour lesquels toutes les poulies ont $3^m,75$ de diamètre et font 100 tours par minute; le câble, qui pèse $1^k,061$, se compose de 6 torons à raison de 11 fils de $1^{mm},5$ par toron, ce qui donne :

$$\zeta = 20.000 . \frac{1.5}{3750} = 8 \text{ kilog.}, \quad \text{et } \omega = 117.$$

La vitesse est :

$$\frac{\varpi \times 3,75 \times 100}{60} = 19^m.60.$$

La tension correspondante à la transmission de 120 chevaux est :

$$T = \frac{2 \times 75 \times 120}{19\,60} = 918;$$

l'effort par millimètre carré est : $\sigma_1 = \frac{918}{117} = 7^k,8$, en sorte que $\sigma_1 + \zeta = 15^k,8$.

Le premier de ces trois relais, savoir P_6P_7, mérite une mention particulière. Il existe entre les poulies P_6 et P_7 une assez grande différence de niveau, la première étant située dans le sous-sol de la scierie, la seconde au sommet d'un pilier. Une transmission directe entre elles aurait beaucoup gêné les abords de la scierie, puisque les câbles auraient passé tout près du sol; pour éviter cet inconvénient, on a racheté cette différence de niveau par deux poulies de support placées dans la scierie même, comme l'indique la *fig.* 6 (Pl. IV), sur laquelle on remarque que

la plus basse des deux poulies de support est plus haute que P_7, de sorte que le reste du relais est descendant (*).

Les longueurs horizontales entre P_7 et P_8 et entre P_8 et P_9 sont de 93 mètres. L'axe de P_9 est à 8 mètres plus haut que celui de P_6. Entre P_6 et P_9 le brin conducteur occupe la position inférieure, tandis qu'entre le moteur et la scierie c'est l'inverse qui a lieu.

A la station P_9 (Pl. IV, *fig.* 7) il y a un changement de direction, et en même temps une partie importante de la force, 100 chevaux, est détachée pour une fabrique de wagons et lui est transmise par un câble spécial identique à celui qui va de P_6 à P_9.

De P_9 à P_{13} nouvel alignement comprenant quatre relais ayant chacun $125^m,55$ de longueur horizontale, soit en tout $622^m,20$, avec une différence de niveau ascendante de $3^m,90$. Les poulies ont $3^m,75$ de diamètre et font 120 tours par minute, en sorte que la vitesse du câble est :

$$\frac{\varpi \times 3,75 \times 120}{60} = 23^m.56.$$

Le câble est formé de 6 torons à 6 fils de $1^{mm},35$, en sorte qu'on a :

$$\zeta = 7^k,2 \text{ et } \omega = 51,5.$$

Si l'on s'impose pour $\zeta + \sigma_1$ la limite très-modérée de 15 kilog., ce qui laisse $7^k,8$ pour σ_1, on voit que l'on pourra transmettre un travail exprimé par :

$$N = \frac{7,8 \times 51,5 \times 23,56}{2 \times 75} = 63 \text{ chevaux},$$

(*) On remarquera que la poulie-support du brin conduit est aussi grande que les autres. La raison en est que ce câble est destiné à marcher en sens inverse dans l'éventualité (voir plus loin) où la scierie serait accidentellement desservie au moyen de la nouvelle turbine non encore posée, par l'intermédiaire de la station P_9.

tandis que maintenant les deux établissements qui vont être mentionnés n'emploient que l'excédant aujourd'hui disponible, savoir 20 chevaux.

Ces deux établissements sont une fonderie et une fabrique d'engrais. Les câbles qui les desservent partent de P_{11} où l'axe de la poulie réceptrice met en mouvement ceux de deux poulies qui les portent respectivement. Tous deux sont composés de 7 torons à 6 fils de $0^{mm},9$; les poulies ont $2^m,15$ de diamètre et font 150 tours par minute. On a ainsi :

$$\omega = 27; \quad \zeta = 8^k,4; \quad v = 16^m,73.$$

La distance est de $73^m,20$ de la station P_{13} à la fonderie et de $145^m,80$ jusqu'à la fabrique d'engrais; dans cette dernière portée est intercalé un pilier de support P_{14} dont les poulies ont $2^m,13$ pour le brin conducteur et $1^m,20$ pour le brin conduit. Il est à remarquer que ces deux câbles pourraient transmettre chacun 20 chevaux et même plus.

On a vu plus haut que la place était réservée dans le bâtiment des moteurs pour une troisième turbine (outre celle dont l'emploi vient d'être décrit et celle du service hydraulique). Sa destination est en partie d'envoyer de la force sur la rive droite de la Sarine, et en partie de fournir du renfort aux établissements ci-dessus décrits de la rive gauche, ainsi que, plus tard, aux ateliers du chemin de fer, près de la gare. Voici ce qui est projeté à cet égard en ce qui concerne la rive gauche. La nouvelle transmission suivra la transmission actuelle pour les deux premiers relais, les stations P_1 dans l'île et P_2 dans le tunnel étant disposées chacune pour deux poulies. Un puits sera creusé dans la colline de mollasse au-dessus de la station P_2 qui sera organisée de manière à être le point de départ d'un relais disposé comme le relais P_6P_7 à l'issue de la scierie, c'est-à-dire commençant par une portion verticale, laquelle se terminera à des poulies de support placées à l'orifice du puits (Pl. IV, *fig.* 5). De là la transmission se dirigera par relais successif jusqu'à la station P_9,

qui est disposée en conséquence, pour fournir des suppléments de force motrice à la fabrique de wagons, à la fonderie, à la fabrique d'engrais, et ultérieurement aux ateliers du chemin de fer qui n'en sont pas encore pourvus. C'est pour cette raison que les câbles au delà de P_9 sont capables de transmettre plus de travail qu'ils ne font maintenant. Au besoin, en cas d'accident à la turbine actuelle ou à la transmission qui en part, la troisième turbine pourra desservir la scierie par le moyen des câbles s'étendant entre P_9 et P_6.

Les poids des poulies, y compris leurs axes, sont en moyenne les suivants :

Diamètres.	A une gorge.	A deux gorges.
4^m,50	2350 kilog.	3170 kilog.
3 ,75	1100 —	1850 —
2 ,13	362 —	528 —

Bellegarde. — Presque en même temps que l'établissement de Fribourg se construisait, une compagnie anglo-américaine en créait un assez semblable dans lequel l'exploitation d'une force motrice se trouve combinée, non pas avec celle de forêts, mais avec celle des fossiles du terrain crétacé que leur richesse en phosphate de chaux rend précieux pour l'agriculture.

Peu après sa sortie du territoire suisse, le Rhône coule dans une gorge sinueuse et encaissée qui commence avant le fort de l'Écluse et s'étend jusque près de Seyssel; dans une portion de ce parcours, son lit est formé par une fissure si étroite et si profonde que, dans la saison des basses eaux, le fleuve disparaît aux regards. C'est ce qu'on nomme la *Perte du Rhône.* La pente superficielle est très-grande dans cette région, ce qui fournissait la possibilité d'obtenir une force considérable par le moyen d'un canal de dérivation de peu de longueur, prenant naissance immédiatement en amont de la *Perte.* Une compagnie fondée par un Américain, M. G. Lomer, s'est proposé de réaliser ce but

et d'utiliser la force obtenue dans des usines à créer sur le plateau qui s'étend près de la station de Bellegarde (Ain), entre le cours du Rhône et le chemin de fer de Lyon à Genève.

La difficulté était de trouver l'emplacement nécessaire dans les montagnes qui descendent à pic jusqu'au bord du Rhône. Pour établir les moteurs, il a fallu emprunter le lit même de la Valserine à l'endroit où ce torrent rejoint le Rhône. Pour amener l'eau motrice à cet endroit, on a dû creuser dans le rocher un tunnel qui marche parallèlement au Rhône à peu de distance de ce fleuve (Pl. V, *fig.* 1). Il est calculé pour débiter 60^{m^3} d'eau par seconde; la chute à la sortie est en moyenne de $11^m,50$. L'emplacement disponible à l'embouchure de la Valserine étant insuffisant pour recevoir tous les moteurs que l'utilisation de cette énorme force nécessiterait, il est question pour l'avenir de diriger le surplus du volume d'eau par un second tunnel sur un point où l'on aura la place de l'utiliser, et où l'on disposera d'une chute de 18 mètres.

Pour le moment on n'en est pas encore là, et sur les six turbines qui pourront trouver place à la sortie du tunnel actuel, deux seulement sont établies. Elles sont du système Jonval et d'une force nette de 630 chevaux chacune. Le massif de maçonnerie qui les contient, et qui est déjà aménagé pour recevoir dans la suite les quatre autres, s'appuie sur le pied de la montagne dans laquelle le tunnel est creusé, c'est-à-dire sur la rive gauche de la Valserine. Le parement de droite du tunnel se continue par un mur qui règne parallèlement à la longueur du massif et vient rejoindre l'extrémité de celui-ci par une courbe, en circonscrivant ainsi un bassin d'alimentation pour les turbines. La Valserine coule contre le parement extérieur de ce mur et vient ensuite se précipiter dans le Rhône en passant sous un pont qui donne accès au bâtiment des moteurs.

La turbine n° 1, la plus rapprochée de la rive droite de la Valserine, sert de moteur : 1° à une usine pour l'élaboration des phosphates de chaux fossiles (*); 2° à des pompes élévatoires destinées à fournir, soit à cette usine, soit à tout le plateau, l'eau nécessaire; 3° à une parqueterie.

Le mouvement de cette turbine, qui marche à raison de 90 tours par minute, se transmet par un engrenage conique à l'arbre horizontal *a* (Pl. IV, *fig.* 8), et de celui-ci par un autre engrenage à l'arbre *b*. Ces deux arbres sont, le premier perpendiculaire et le second parallèle à la face longitudinale du bâtiment et font chacun 70 tours par minute. L'arbre *b* commande deux pompes, chacune par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue dentée. Pour le moment, on ne fait fonctionner qu'une seule pompe qui élève par seconde 66 litres sous une pression de 72 mètres. Cet arbre est destiné à être prolongé de manière à pouvoir être au besoin commandé par la turbine n° 3 quand elle sera installée.

Quant à l'arbre *a*, il porte les deux poulies A et A' qui sont l'origine de deux transmissions parallèles, mais indépendantes l'une de l'autre, ayant pour direction commune la ligne droite tendant de la turbine à l'extrémité nord de l'usine à phosphates. La longueur de cette ligne, environ 900 mètres, est subdivisée en six relais par les cinq stations P_a, P_b, P_c, P_d, P_e, montées sur piliers de maçonnerie, dont les deux dernières sont situées sur la rive gauche du Rhône, lequel est par conséquent franchi deux fois par le câble. Le plus court des relais est l'avant-dernier, le plus long est le

(*) L'exploitation de la force motrice et celle des phosphates appartenaient dans l'origine à deux sociétés différentes qui se sont ensuite fusionnées sous le nom de *Compagnie générale de Bellegarde*. Nous devons la plupart de nos renseignements à l'obligeance de M. Sarrut, ingénieur au service de cette compagnie, et ancien élève de l'École des mines. On trouvera aussi des données sur l'ensemble de l'entreprise et notamment sur les turbines dans le journal anglais *The Engineer*, mars, avril et mai 1874.

dernier qui est de 197 mètres. Chaque station est destinée à recevoir deux poulies montées sur des axes indépendants, l'une pour un des câbles, l'autre pour l'autre. Pour le moment, il n'y a que les câbles de gauche qui soient au complet ainsi que leurs poulies de relais; ils s'étendent de la poulie A à la poulie réceptrice de l'usine des phosphates.

Une partie de la force transmise à cette poulie est prise par le moulin à phosphates; elle est de 200 chevaux. Le surplus est transmis par l'intermédiaire d'un arbre vertical à un câble plus faible pour desservir la laverie des phosphates, ainsi que des établissements non encore créés.

Quant au câble de droite, il est pour le présent réduit au premier relais, et se termine par conséquent à P_a. Le mouvement de la poulie de cette station est transmis par le moyen de deux engrenages coniques, d'abord à un arbre vertical dont les paliers sont assujettis sur la maçonnerie du pilier, puis à un autre arbre horizontal souterrain qui dessert la parqueterie (Pl. V, *fig.* 2 et 3) ; celle-ci absorbe environ 50 chevaux.

Pour l'un et l'autre des deux câbles, le premier relais comprend une station de support P′, située au haut de l'escarpement qui borde la Valserine, et qui le subdivise en deux parties, l'une très-inclinée, l'autre très-peu inclinée (Pl. IV, *fig.* 9).

Pour toutes les transmissions de la poulie n° 1, le brin conducteur est en haut.

Les poulies motrices A et A′, la poulie réceptrice et les poulies-support du brin conducteur en P′ ont toutes 5^m,50 de diamètre utile et pèsent 2.775 kilog., y compris leur arbre qui a 160^{mm} de diamètre aux tourillons, 320^{mm} au moyeu. Les poulies des stations de relais P_a...P_e, ont le même diamètre, mais sont à double gorge et pèsent 3.750 kilog. Les poulies de support des brins conduits, en P′, ont seulement 3^m,80.

La turbine n° 2, identique à la précédente, transmet de même son mouvement à un arbre horizontal a_1 (*fig.* 8), portant deux poulies A_1 et A'_1 qui sont aussi l'origine de deux transmissions parallèles et indépendantes. L'arbre a_1 faisant un angle de 45° avec l'arbre a, il en résulte que, en projection horizontale, les transmissions partant de A et de A' font ce même angle avec celles partant de A_1 et de A'_1.

Celles-ci se réduisent à un seul relais et se terminent à deux poulies réceptrices indépendantes qui se partagent la commande des engins d'une grande fabrique de pâte de bois capable d'absorber toute la force de la turbine. Ce relais est également subdivisé par une station de support P″ en deux parties, l'une de faible inclinaison, l'autre au contraire très-inclinée (*fig.* 10). Le sens de la rotation de la turbine est tel que le brin conducteur de cette transmission occupe la position inférieure, tandis que c'est l'inverse pour l'autre. Le motif de cette différence ne nous est pas connu.

Les câbles et les poulies sont exactement les mêmes que pour la turbine n° 1.

Les torons composant les câbles sont au nombre de 8 et comprennent chacun 9 fils de $2^{mm},15$ de diamètre. La section métallique est :

$$\omega = 255^{mm^2},$$

l'effort d'enroulement :

$$\zeta = 20000 \frac{2,15}{5500} = 7^k,8,$$

et la vitesse du câble :

$$v = \frac{\pi \times 5,50 \times 70}{60.} = 20 \text{ mètres.}$$

La transmission du travail de chacune des turbines, c'est-à-dire de 630 chevaux, se répartissant entre deux câbles,

la tension que chacun doit posséder aux extrémités du brin conducteur est :

$$T = \frac{2 \times 75 \times 315}{20} = 2362 \text{ kilog.},$$

en sorte que $$\sigma_1 = \frac{T}{\omega} = \frac{2362}{255} = 9^k,2.$$

On a ainsi : $$\sigma_1 + \zeta = 17 \text{ kilog.}$$

Cette tension, en admettant que le câble n'est pas plus tendu que la transmission du travail ne le requiert, se trouve réalisée : 1° aux poulies motrices des deux turbines, 2° aux extrémités des 2°, 3°, 4° et 5° relais de la turbine n° 1, lesquels s'écartent à peine de l'horizontalité. Mais des tensions un peu supérieures existent dans le premier relais de chaque turbine ; ainsi, en ce qui concerne la turbine n° 1, comme l'axe de la poulie-support du brin conducteur se trouve à 36 mètres plus haut que celui de la poulie motrice, la tension de ce brin sur la poulie-support sera :

$$2.362^k + 2^k,555 \times 36^m = 2.454^k$$

($2^k,555$ étant le poids linéaire du câble), ce qui fera par millimètre carré $\frac{2454}{255} = 9^k,6$, soit $0^k,4$ de plus qu'en bas. La tension sera encore un peu plus grande vers la poulie réceptrice puisque celle-ci est un peu plus haute que la poulie-support. Mais au fond ces différences sont insignifiantes et en tous cas inférieures aux écarts qui existent, même pour un relais horizontal, entre la tension projetée et la tension réelle.

La disposition du premier relais de la turbine n° 1 et du relais unique de la turbine n° 2 mérite d'être examinée et d'être rapprochée de celle du relais $P_6 P_7$, à l'issue de la scierie de Fribourg.

Si une corde possédant le poids linéaire p est suspendue

librement à un de ses bouts, et qu'on fixe son extrémité inférieure dans sa position naturelle sans y exercer de traction, la tension éprouvée par cette corde variera depuis o au point d'attache inférieur jusqu'à pH au point d'attache supérieur, H étant la distance de ces points. Si l'on veut qu'elle éprouve en bas une tension θ, il faut exercer sur elle une traction égale à θ, auquel cas la tension en haut deviendra $\theta + pH$. Un organe funiculaire destiné à transmettre le mouvement entre deux poulies dont les axes sont l'un verticalement au-dessus de l'autre, est assimilable à cette corde. S'il ne possède d'autre tension que celle résultant de son poids dans la situation verticale, sa tension sera pH sur la poulie supérieure et o sur l'inférieure : l'adhérence fera défaut sur celle-ci, et la communication du mouvement sera impossible. Pour la rendre possible, il faut donner à la corde à l'état de repos une tension supplémentaire θ calculée de telle sorte que la mise en jeu de la puissance et de la résistance détermine respectivement dans les deux brins les tensions T et t. Les brins éprouveront alors les tensions T et t à leurs extrémités inférieures, $T + pH$ et $t + pH$ à leurs extrémités supérieures.

Mais un câble ne se prête pas, comme une courroie, à recevoir ce supplément de tension d'une manière permanente et régulière ; en sorte que par son moyen la communication du mouvement entre les deux poulies placées verticalement l'une au-dessous de l'autre ne pourrait être assurée. C'est pourquoi, à la sortie de la scierie de Fribourg, dans le but de relever le câble partant de P_6 jusqu'au niveau de la poulie suivante P_7, au lieu de placer verticalement au-dessus de P_6 une poulie de relais, et d'avoir de celle-ci à P_7 un nouveau câble, on y a installé deux poulies de support a et b pour un câble unique (Pl. IV, *fig.* 6). Les deux brins possèdent entre les poulies a et b et P_7 une tension en vertu de laquelle ils communiquent à la partie verticale celle qui lui est nécessaire : ils jouent à son égard

le rôle d'un tendeur. Si l'on appelle H, H' et H'' les hauteurs des centres des poulies P_7 a et b, au-dessus du centre de P_6, S et S' les tensions des deux brins sur P_7, on aura, en négligeant les résistances passives :
pour le brin conducteur :

tension en a : $S + p(H' - H)$;

tension en P_6 : $S + p(H' - H) - pH' = S - pH$,

pour le brin conduit,

tension en b : $S' + p(H'' - H)$;

tension en P_6 : $S' + p(H'' - H) - pH'' = S' - pH$,

et la transmission de mouvement s'opérera, si $S - pH =$ et $S' - pH = t$. Il en sera de même pour le relais à établir au-dessus de P_2 en vue de la turbine future.

A Bellegarde les câbles présentent, comme on l'a vu, entre les turbines et le bord du plateau, un trajet qui, tout en étant fort incliné, surtout pour la turbine n° 2 (*fig.* 11), est encore bien éloigné de la verticalité, et par conséquent assure à l'extrémité inférieure du câble une tension considérable. Malgré cela le constructeur a jugé que la transmission du mouvement serait mieux garantie par une disposition analogue à celle du relais P_6P_7 de Fribourg, c'est-à-dire en plaçant au bord du plateau, non une station de relais, mais une station de support.

En récapitulant ce qui précède, on verra que la limite de 15 kilog. qui a été indiquée pour l'effort moléculaire maximum $\sigma_1 + \zeta$ est atteinte et même dépassée, et que dans les études on admet souvent jusqu'à 18 mètres. Il faudrait pouvoir comparer pendant plusieurs années la marche d'installations établies dans des conditions très-semblables pour pouvoir juger jusqu'à quel point une réduction de cette limite est favorable à la durée des câbles. Il va, du reste, bien sans dire que la valeur fixée pour σ_1 dans les projets

n'est qu'une moyenne autour de laquelle varie l'effort réel. En effet, le câble s'allonge peu à peu, sa flèche augmente et par conséquent l'effort réel descend au-dessous du chiffre fixé ; au bout de quelque temps, pour y remédier, on opère un raccourcissement par suite duquel ce chiffre est dépassé, et ainsi de suite.

Avant d'employer un câble neuf, on lui fait subir aujourd'hui, par le moyen d'une machine spéciale, une sorte de laminage par suite duquel son diamètre diminue tandis que sa longueur augmente. Ainsi le câble principal de Fribourg a été par ce moyen réduit en diamètre de 29^{mm} 1/2 à 27^{mm}, et allongé dans la proportion de 0,825 p. 100. Cett opération a pour but de diminuer l'allongement que le câble éprouve par l'usage, et par suite le nombre de raccourcissements successifs qu'il faut lui faire subir. Pour ce dernier objet, on a quelquefois réussi en introduisant dans la gorge des poulies une garniture supplémentaire en bois qui, en augmentant leur diamètre utile, tend par cela même le câble lorsqu'il s'est relâché ; on la conserve jusqu'au jour où l'on se décide à opérer le raccourcissement.

L'étirage à la machine a amené l'abandon définitif des câbles à âme en fil de fer qu'on a quelquefois employés et dont le seul mérite était de s'allonger moins que les autres.

L'enduit dont on garnit les câbles s'obtient en mélangeant à chaud du cambouis et de la colophane.

On peut évaluer en moyenne à trois ans la durée totale d'un câble et celle d'une garniture en cuir debout. Les oscillations verticales des câbles sont sans inconvénients. Les oscillations horizontales nuisent au contraire à leur durée ; elles proviennent ou de ce que les poulies ont leur centre de gravité hors de l'axe, ou de ce qu'elles sont gauches, ou d'un défaut d'alignement. Les câbles paraissent se conserver mieux dans des gorges évasées que dans des gorges étroites ; mais il est difficile d'éviter celles-ci dans les poulies doubles. (Voir t. VI, Pl. V, *fig.* 11.)

L'usure des garnitures est la plus forte dans les poulies de support : on a observé que la vitesse périphérique de celles-ci est plus grande que celle du câble, ce qui donne lieu nécessairement à un glissement (*).

Voici les valeurs du rapport $\frac{\omega}{p}$ (**), pour quelques-uns des câbles ci-dessus décrits :

Schaffouse,	des turbines à P_4	100
—	de P_4 à P_8	97
Fribourg,	de la turbine à la scierie	102
—	de la scierie à P_9 et à la f. de wagons.	110
—	de P_9 à P_{13}	103
Bellegarde,	tous les câbles principaux	100 (***)

Nous avons recherché quel pouvait être le rendement d'une transmission à un seul relais, et nous avons vu qu'en admettant pour la roideur un coefficient exagéré, on trouvait un rendement de $0^m,938$, dans les conditions supposées :

$$f_1 = 0{,}09, \quad \frac{\rho}{R} = \frac{1}{30}, \quad R = 2^m{,}250, \quad \Delta = 0^m{,}025.$$

Si l'on suppose le coefficient de roideur réduit de moitié, le rendement sera 0,953. Si, comme le conseillent M. Hirn et M. Reuleaux, on néglige absolument la roideur (****), on trouve que le rendement s'élève à 0,969.

(*) Sur les détails pratiques on pourra consulter la notice publiée par M. Ziegler sous le titre de : *Erfahrungs-Resultate über Betrieb und Instandhaltung der Drahtseiltriebe.* Winterthur 1871.

(**) Si l'on imagine un bout de câble librement suspendu à une de ses extrémités, $\frac{\omega}{p}$ représente la longueur qu'il devra avoir pour éprouver à son point de suspension, en vertu de son propre poids, un effort de 1 kilog. par millimètre carré de section métallique.

(***) Ce rapport tend à diminuer à mesure que les fils de fer deviennent plus petits et plus nombreux.

(****) Eytelwein a trouvé que la formule empirique complexe,

En fait d'expériences pratiques sur cette question, nous ne connaissons que celles que M. Ziegler a faites sur la transmission d'Oberursel, et dont il a bien voulu nous communiquer la relation. Elles étaient organisées comme suit. Un frein dynamométrique était établi sur l'arbre horizontal qui reçoit le mouvement de la turbine et qui porte la poulie motrice. La transmission entière marchant, et la poulie réceptrice actionnant quelques machines qui absor-

---

destinée à traduire les résultats des expériences de Coulomb et de Prony sur la roideur, ne donnait point des résultats exacts dans tous les cas, et que, par conséquent, il était préférable de la remplacer par une expression plus simple en vertu de laquelle on a :

$$P = Q\left(1 + s\frac{\Delta^2}{R}\right),$$

en admettant que la puissance agisse sur l'autre brin de la corde.

Cette formule ne peut donner que des résultats approximatifs puisque plusieurs facteurs qui exercent sur la roideur une grande influence n'y sont pas représentés. Aussi a-t-on trouvé pour le cofficient s relatif aux câbles de chanvre les valeurs les plus divergentes.

Redtenbacher, en essayant de calculer la roideur par la théorie de l'élasticité, a obtenu une formule qui ne concorde en rien avec celle d'Eytelwein, et il s'en tient à celle ci.

Au moyen de quelques essais sur des câbles en fil de fer, il a trouvé pour s la valeur 29 (δ et R étant exprimés en mètres) qui est décidément trop grande, comme l'ont prouvé les expériences de Weisbach. D'après celui-ci, la résistance qu'on attribue à la roideur provient en partie du frottement des fils de fer entre eux. Ce qui le prouve, c'est que dans des câbles de fer fraîchement goudronnés elle est de 40 p. 100 moindre que dans des câbles secs.

Ce qui contribue à rendre négligeable la résistance due à la roideur d'un câble métallique, c'est que le câble, en raison de son élasticité, restitue en se déroulant une partie du travail qu'il a consommé pour s'enrouler. Avec des câbles de chanvre, vu leur faible élasticité, il en est tout autrement. Quant à la valeur de cette résistance en elle-même, les essais de Weisbach n'ont guère donné de résultats généralement applicables, mais ont cependant permis de s'assurer que le coefficient $s = 29$ est au moins double de celui qui représenterait la réalité.

(*Extrait d'une note communiquée à l'auteur par* M. D. H. Ziegler.)

baient un travail connu w, on procédait à un essai dont le résultat donnait le travail disponible u_0 ; le travail net total de la turbine était alors :

$$u' + w + z + u_0,$$

z étant le travail cherché qu'absorbe la transmission, et u' le travail calculé d'avance qu'absorbent divers frottements (engrenages coniques, coussinets, etc.), entre la turbine et le frein. Si ensuite on supprime la transmission et par suite la dépense des travaux w et z, et qu'on refasse l'essai, celui-ci donnera le travail disponible u_1 dans ces nouvelles conditions, et le travail net total s'exprimera par $u_1 + u'$. On aura donc, comme ce travail n'a pas varié :

$$u_1 + u' = u' + w + z + u_0,$$

d'où

$$z = u_1 - u_0 - w.$$

Le résultat a été $z = 15{,}25$ chevaux. Les tensions étaient disposées en vue d'un travail net de 95,40 chevaux à transmettre (*) (V. plus haut), le rendement était donc :

$$\frac{95.40 - 15{,}25}{95{,}40} = \frac{80{,}15}{95{,}40} = 0{,}84.$$

(*) Dans ces essais, la quantité d'eau admise sur la turbine était très-inférieure au maximum et par conséquent le travail net était bien loin d'atteindre $95^{ch},4$. Il n'était que de 23 chevaux environ. Mais cette circonstance ne détruit pas la valeur des résultats, et la perte z aurait été identique ou presque identique en grandeur absolue avec un travail de $95^{ch},4$. En effet, cette perte de travail dépend des pressions F, F', etc. exercées par les tourillons des poulies sur leurs coussinets. Or, le câble était réglé pour sa tension en vue du travail normal à transmettre; par conséquent, les pressions F sur toutes les poulies de relais étaient les mêmes pour 23 chevaux que pour 95,4. Il n'y avait d'exception que pour la poulie motrice et la poulie réceptrice pour lesquelles la quantité F s'obtient en composant les tensions et le poids de la poulie, quantités qui étaient les mêmes dans les deux cas, avec la puissance P ou la résistance Q qui sont au contraires proportionnelles au nombre de chevaux à transmettre. Mais il ne peut pas résulter de là un écart sensible dans la valeur absolue de la perte totale de travail.

Comme la transmission dont il s'agit comprend sept stations de relais, son rendement total sera, d'après ce qui a été dit (t. VI, p. 159), la puissance $\frac{7+2}{2} = \frac{9}{2}$ du rendement $\frac{Q}{P}$ d'un relais isolé. Or de $\left(\frac{Q}{P}\right)^{\frac{9}{2}} = 0{,}84$, on déduit $\frac{Q}{P} = 0{,}962$, quantité presque identique à celle qui a été trouvée théoriquement dans le cas de $f_1 = 0{,}09$, $\frac{\rho}{R} = \frac{1}{30}$, et en négligeant la roideur.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE IV. *Fig.* 1. Plan de la transmission de Schaffouse.

a, barrage. — *b*, turbines. — *e*, canal de fuite. — *c*, transmissions secondaires par câble.— P_1... P_8, piliers de stations.

Fig. 2. Plan du pilier de la station P_4 à Schaffouse.

Fig. 3. Coupe verticale et élévation montrant l'arbre *mn* de la *fig.* 2.

Fig. 4. Plan de la transmission de Fribourg.

a, barrage. — *b*, déversoir. — *c*, usine hydraulique. — *d*, scierie. — *e*, plan incliné funiculaire faisant suite à l'embranchement. — *f*, fabrique de wagons. — *g*, fonderie. — *h*, fabrique d'engrais. — *i*, *i*, ponts suspendus. — *k*, gare de Fribourg. — A, lac de Pérolles. — P_1... P_{14} stations.

Fig. 5. Élévation de la transmission de Fribourg entre l'usine hydraulique et la scierie.

b, déversoir.—*c*, usine hydraulique.— *d*, scierie. — P_1.... P_8, stations. — *n*, niveau d'amont, soit du lac de Pérolles. — *p*, niveau d'aval.— *q*, ancien niveau de la Sarine en amont.

Fig. 6. Élévation du relais P_6... P_7 à la scierie de Fribourg.

a et *b*, poulies de support.

Fig. 7. Plan du pilier de station P_9 de la transmission de Fribourg.

A, câble par lequel la force est transmise de la scierie.

B, câble desservant la fabrique de wagons.

C, câble transmettant la force à la fonderie et à la fabrique d'engrais.

D, câble par lequel la force sera transmise à la station dès la turbine n° 3.

Poulie du câble	A	diamètre	3m,75	vitesse	100	tours par minute.		
—	B	—	3m,75	—	81	—	—	
—	C	—	3m,75	—	120	—	—	
—	D	—	4m,50	—	81	—	—	

a, *b* et *b'*, *c*, *d*, roues dentées respectivement montées sur les mêmes arbres que les poulies des câbles A, B, C et D.

PLANCHE IV. *Fig.* 8. Disposition des turbines de Bellegarde, en plan.

a, A, A' arbre horizontal et poulies, commandés par la turbine n° 1.

a_1 A_1 A_1', arbre horizontal et poulies, commandés par la turbine n° 2.

b, arbre horizontal transmettant le mouvement aux pompes.

p, *p*, pignons montés sur l'arbre *b*.

r, *r*, roues dentées engrenant avec ces pignons et montées sur l'arbre des pompes.

Fig. 9. Élévation du premier relais de transmission de la turbine n° 1 de Bellegarde.

A, poulies motrices.— B, poulies à double gorge de la station P_a. — P', poulies de support.

Fig. 10. Élévation de la transmission de la turbine n° 2 de Bellegarde.

A_1, poulies motrices.— B_1, poulies réceptrices de la fabrique de pâte de bois. — P'', poulies de support.

PLANCHE V. *Fig.* 1. Plan de la transmission de Bellegarde.

1, bassin de prise d'eau. — 2, tunnel-canal de dérivation. — 3, bâtiment des moteurs. — 4, nouveau tunnel projeté. — 5, emplacement pour les moteurs à desservir par ce tunnel. — 6, siége de la compagnie générale. — 7, aiguille et embranchement de la compagnie. — 8, moulins à phosphates. — 9, fabrique de pâte de bois. — 10, parqueterie. — P_a, P_b... P_e, piliers de relais. — P' et P'', piliers de supports. — A, perte du Rhône. — B, gare de Bellegarde.

Fig. 2. Coupe verticale du pilier de relais P_a, parallèlement aux axes des poulies.

Fig. 3. Élévation de ce même pilier.

DISCOURS PRONONCÉ

Dans la séance générale de l'Association des amis des Sciences, le 8 mai 1875 (*).

EXPOSÉ DES TRAVAUX

DE

M. ÉLIE DE BEAUMONT (**),

Par M. POTIER, ingénieur des mines.

Messieurs,

Dans cette séance annuelle, il est d'usage de rappeler à votre souvenir les hommes éminents qu'a perdus votre association.

Dans la liste déjà longue de vos pertes, la mémoire d'Élie de Beaumont doit particulièrement vous être chère. Dès la fondation de votre association, il avait tenu à vous offrir le concours de son nom et de son influence; concours toujours assuré à qui l'invoquait au nom de la science, de la charité ou du patriotisme.

Cette influence n'était pas due seulement aux hautes fonctions dont l'Académie l'avait revêtu en lui confiant la lourde succession d'Arago, il l'avait conquise dès le début

(*) Sur la demande de M. Dumas, Président de l'Association, on a dû insister sur les travaux de M. de Beaumont relatifs aux *Systèmes de montagnes* et au *Réseau pentagonal.*

(**) Les *Annales des mines* ont donné (t. VI, p. 187 à 215) les discours prononcés aux funérailles de M. Élie de Beaumont; elles reproduisent ici l'exposé de ses travaux, fait par M. Potier à la séance générale de l'Association des amis des sciences, et y joignent la liste de ses travaux scientifiques, dressée par M. Guyerdet; elles publieront bientôt, sur la vie et l'œuvre de M. Élie de Beaumont, une notice, dont la commission des *Annales des mines* a confié la rédaction à M. B. de Chancourtois. L. M.

de sa carrière scientifique, par des travaux de premier ordre, qui l'avaient placé à la tête de la géologie française. Sa description des Vosges, la première anatomie complète que nous possédions d'une contrée montagneuse, avait mis en relief ses qualités d'observateur, sa pénétration et sa sagacité. Mais ce qui devait l'illustrer, ce sont ses travaux sur l'histoire de notre planète, prise dans son ensemble, travaux qui, devenus le patrimoine commun de tous les géologues, ont rendu son nom populaire dans les deux mondes.

Le premier mémoire (à ce point de vue général) d'Élie de Beaumont a été lu à l'Académie des sciences le 22 juin 1829; son titre est « *Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe* ». Il produisit une émotion considérable. Pour la première fois on disait nettement : Les chaînes des montagnes n'ont pas toujours existé, elles se sont produites à des époques différentes, et l'on peut affirmer que les Vosges existaient avant les Pyrénées, et celles-ci avant les Alpes. De plus, on en donnait des preuves si claires, qu'il paraissait à la portée de tout le monde de le vérifier. Aussi le public savant tout entier salua cette découverte avec enthousiasme. Arago, qui paraît avoir professé jusque-là un certain dédain pour les géologues (car il les comparait aux augures qui ne pouvaient se regarder sans rire), Arago, dis-je, s'empressa de vulgariser ce résultat dans une des notices dont il avait l'habitude d'enrichir l'*Annuaire du bureau des longitudes*, tandis que les représentants les plus autorisés de la géologie, Brongniart, Beudant et Brochant de Villiers, chargés de présenter à l'Académie un rapport sur ce mémoire, proclamaient comme nouvelle cette proposition que « toutes les chaînes de montagnes n'ont pas été soulevées à la même époque, et qu'il est possible de distinguer et même d'énumérer ces différents paroxysmes d'élévation ». Ils s'excusent de sortir de la réserve académique dans les éloges qu'ils donnent à Élie de Beaumont, et, chose plus méritoire, l'un des rapporteurs, qui avait été professeur d'Élie de

Beaumont, reconnaît la justesse des vues de son disciple, et abjure les doctrines qu'il lui avait enseignées. Dès ce moment Élie de Beaumont était hors de pair, et sa place était marquée à l'Institut, dont il devait partager les travaux pendant quarante années.

Le principe du mémoire de 1829 est le suivant : Vous savez que la partie du globe terrestre la plus superficielle, celle que nous pouvons observer, est composée principalement de couches successives de matières diverses qui ont été déposées par les eaux, comme le prouve l'arrangement des matériaux qui les constituent, ou la présence de dépouilles d'animaux marins ou d'eau douce qu'elles contiennent. Ces couches, presque horizontales dans les pays de plaine, autour de Paris par exemple, se trouvent inclinées dans les pays accidentés. Mais alors on peut prouver qu'elles ont été dérangées de leur position primitive et qu'elles avaient en réalité été déposées originairement dans une position presque horizontale, comme celles des pays de plaine. Saussure l'a démontré le premier pour une roche des environs du mont Blanc, que l'on nomme poudingue de Valorsine ; c'est un grès à pâte fine dans laquelle on distingue de gros galets arrondis, et dont la forme montre bien qu'ils ont été charriés ; mais au lieu d'être sur leur plat, ces galets sont aujourd'hui de champ, en même temps que les couches du grès qui les unit sont presque verticales. Comme il est bien certain que les galets n'ont pu être déposés dans cette position par le mouvement des eaux, il faut bien admettre qu'ils étaient originairement à plat, et que les couches de grès étaient horizontales ; puis que ces couches ont été redressées, et que les galets se sont ainsi trouvés placés de champ pendant que les couches devenaient verticales. Dans les couches qui contiennent des fossiles, on remarque aussi que les coquilles plates sont couchées parallèlement aux couches, même quand celles-ci sont inclinées ; ces coquilles étant évidemment dans le

même cas que les galets dont je viens de parler, il faut bien aussi que ces couches inclinées aient été primitivement disposées horizontalement. Enfin, si vous jetez un coup d'œil sur le croquis représentant la manière d'être des couches de charbon du nord de la France (*fig.* 4, Pl. V), entre lesquelles se trouvent des couches de grès et des couches d'argile durcie, vous serez bien convaincus que ces couches ne sont plus maintenant dans la même position qu'à l'époque de leur dépôt.

Il y a donc des localités pour lesquelles nous pouvons affirmer qu'elles ont été le siége de bouleversements et de dislocations dont vous jugerez l'importance quand vous saurez que c'est par centaines et milliers de mètres que se compte l'épaisseur de couches aussi froissées. Il faut maintenant chercher à quelle époque ont eu lieu ces bouleversements, déterminer l'âge de ces révolutions et les classer dans la chronologie terrestre.

Il saute aux yeux que, dans une série de couches déposées par les eaux, les plus anciennes sont les plus profondes, et que l'ordre de superposition de ces couches est en même temps l'ordre de leur dépôt ; on peut donc assigner un âge relatif à tous les groupes de couches dont la superposition est constatée. Ces couches sont en tel nombre qu'on a dû les grouper en masses, qu'on a appelées terrains, ou formations, et dans lesquelles on a réuni toutes les couches qui ont la même allure, et s'accompagnent toujours. Ces ensembles ont reçu des noms dont je transcris ici les plus importants. Chacun de ces groupes est caractérisé en même temps par une association d'animaux et de plantes, par une faune et une flore distinctes, qui leur sont particulières ; et l'ordre de succession de ces faunes et de ces flores, déduit une fois pour toutes de l'ordre de superposition des couches qui les renferment, peut servir à son tour à fixer ce que les géologues appellent l'âge d'une couche, c'est-à-dire la place qu'il faut lui attribuer dans le tableau.

Lorsque les couches ont été disloquées, la révolution qui les a bouleversées est certainement postérieure à leur dépôt ; elle est antérieure au contraire à celui des couches qui n'ont pas été dérangées de leur position primitive. Ainsi, dans l'exemple *fig*. 4. Pl. V, vous voyez que le dérangement du terrain carbonifère est antérieur au dépôt des couches de la craie ; l'âge de ce mouvement n'est donc pas fixé avec une grande précision, car entre le terrain houiller et la craie se sont déposées les couches qui constituent le sol de la Lorraine et celles qui constituent les coteaux de la Bourgogne. Mais vous pouvez voir sur la même figure la trace d'une autre dislocation dont l'âge sera beaucoup mieux déterminé ; vous voyez que les couches marquées d'une S sont presque verticales, et que sur elles reposent des couches marquées d'un D qui sont les mêmes que celles qui passent sous la formation carbonifère. S'il n'y avait pas eu de mouvement entre la formation de ces deux dépôts, ces deux groupes S et D devraient avoir la même allure, puisque D repose sur la tranche de S, c'est que celui-ci avait été déjà redressé lorsque D a commencé de se déposer ; l'époque du bouleversement est donc antérieure au terrain dévonien et postérieure au dépôt du terrain silurien, et nous pouvons affirmer que cette révolution a précédé la première qui a bouleversé le terrain houiller.

Dans les montagnes, les dislocations de la même nature sont la règle. Des couches qui contiennent des restes d'animaux marins, aujourd'hui à plusieurs milliers de mètres au-dessus du niveau de la mer, sont en même temps redressées jusqu'à la verticale et même renversées. Ce n'est donc pas par le seul effet du retrait de la mer que nous les voyons à cette hauteur, mais par l'effet d'une révolution qui les a en même temps soulevées et inclinées ; après cette révolution, la mer a formé de nouveaux sédiments qui sont venus se déposer au pied des montagnes

et dont l'âge fixe pour nous la date du soulèvement de la montagne. Ce soulèvement est plus ancien que la première couche déposée horizontalement à son pied, plus récent que la dernière couche relevée ; et si une couche redressée dans les Alpes vient mourir horizontalement contre les ramifications du Forez, nous pouvons affirmer que le dernier relief des Alpes est postérieur à la formation des montagnes du Forez.

Si ces raisonnements ont la rigueur de la géométrie, ils en ont aussi la simplicité, et vous pouvez vous étonner qu'un résultat si évident n'ait pas été acquis dès l'origine de la géologie ; mais il faut songer à la masse de connaissances acquises que ces conclusions supposent déjà. Il fallait d'abord savoir que les matériaux qui composent l'écorce terrestre n'y sont pas distribués au hasard ; qu'il y a une règle qui préside à leur assemblage ; acquérir cette notion qu'ils n'ont pas été formés tout d'un coup, mais successivement, et trouver les moyens de fixer l'ordre relatif de leur formation. Ce fut la tâche de Werner. Il y réussit si bien que les travaux antérieurs d'hommes éminents furent complétement mis de côté, tandis que ses théories, très-discutables, devinrent classiques.

A l'origine, disait Werner, la mer avait couvert toute la surface du globe, et avait laissé déposer les roches comme l'eau de la mer dépose du sel dans les marais salants. Le niveau de l'Océan s'était ensuite abaissé progressivement et les dépôts émergés avaient formé les continents. Les agents atmosphériques avaient ensuite dégradé ceux-ci et modelé les montagnes.

Mais quand les élèves de Werner, armés des méthodes rigoureuses d'observation de leur maître, sortirent des petites collines saxonnes pour étudier le reste de l'Europe, ils furent bien obligés de renoncer, quoique à contre-cœur, à ces théories. Il devint évident pour eux qu'à diverses époques il était sorti du sein de la terre des roches plus ou

moins voisines des laves actuelles; que l'ordre théorique qu'ils avaient cru régner partout avait été dérangé, non pas accidentellement, mais sur de grandes étendues; qu'on avait trop facilement rejeté les observations non conformes aux théories à la mode, et qu'en France en particulier les travaux de Palassou, de Faujas de Saint-Fond et de Dolomieu, ne méritaient pas le discrédit où ils étaient tombés. Il existait alors une grande répugnance à admettre que l'écorce terrestre n'était pas d'une stabilité parfaite, et c'était la grande objection de la géologie classique contre les novateurs. « Il semble, dit un des meilleurs traités de 1819 (à cette époque M. de Beaumont était à l'École des mines), que pour nous sortir d'embarras on nous jette dans un bien plus grand. Parce que nous sommes en peine de faire baisser le niveau pour ainsi dire mobile de la mer, on nous propose de hausser le niveau de la terre ferme (*). »

Ainsi, malgré les travaux de Buch, de Keferstein, de Mérian et de Boué, malgré les travaux d'Élie de Beaumont lui-même dans les Alpes, malgré son admirable description des Vosges, malgré tous ces arguments dont le nombre augmentait sans cesse, la géologie classique n'avait pas encore cédé.

De leur côté, Cuvier et Brongniart avaient montré qu'avant d'être habitée par les races actuelles d'animaux, la surface de la terre avait nourri une faune toute différente, qui avait succédé elle-même à d'autres plus anciennes et également détruites. Ils en avaient conclu la nécessité d'une série de révolutions qui auraient détruit chaque fois tout ce qui vivait à la surface de la terre.

Les théories de Werner, battues en brèche de tous côtés, devaient finir par tomber. Il fut donné à Élie de Beaumont de les renverser complétement. Par la forme saisissante et précise qu'il donnait à l'exposé des faits, en appuyant

(*) D'Aubuisson de Voisins, *Traité de géognosie*, t. I, p. 415.

chaque révolution du nom de montagnes bien connues, il intéressa l'opinion publique à la solution de la question, solution qui ne pouvait pas être douteuse.

Mais ce mémoire de 1829 avait une portée plus haute que la détermination de l'âge de quelques chaînes de montagnes. A peine était-il établi que l'écorce terrestre avait été fracturée en différents points, et à différentes époques, qu'Élie de Beaumont cherchait déjà à coordonner tous ces accidents.

Il est rare qu'un chaînon de montagnes soit isolé. Presque toujours à côté de lui se trouvent un ou plusieurs autres chaînons, qui lui sont parallèles; et lorsqu'on étudie leur structure, on voit qu'ils datent tous de la même époque; que les couches redressées dans l'un le sont aussi dans les autres, de sorte que l'ensemble de ces chaînons parallèles est le produit d'une même opération de la nature qui leur a imprimé à tous la même direction.

Si, dans le prolongement de ces chaînons ou à quelque distance, nous en trouvons d'autres de même direction, nous serons naturellement portés à admettre qu'ils ont été formés à la même époque, et à formuler cette règle : « Les chaînes de montagnes parallèles ont été soulevées à la même époque. »

Les dérangements de l'écorce terrestre ne se produisent pas toujours par des chaînes de montagnes. Dans des régions à peu près plates, comme l'Ardenne, nous trouvons des couches repliées sur elles-mêmes, comme les fronces d'une étoffe; dans ce cas encore, on voit les couches du même âge plissées dans la même direction. D'autres fois, les terrains sont simplement fendus; dans les pays de mines notamment, ces fissures de l'écorce sont remplies par des minerais métalliques, minerais de plomb, de zinc, de cuivre, etc. En Saxe, dans le Cornouailles, où les mines sont exploitées depuis plusieurs siècles, on a vidé ces fissures sur de grandes longueurs et jusqu'à la profondeur de

7 à 800 mètres. Cette expérience prolongée a montré que les fentes qui avaient la même direction étaient remplies des mêmes métaux et étaient du même âge.

Ainsi la même loi s'applique aux chaînes de montagnes, aux plissements des couches, aux fractures : même direction — même âge.

Élie de Beaumont appela *système de montagnes* l'ensemble de ces accidents de même âge et de même direction. Ainsi, dans ce qu'il appelle *le système des Pyrénées*, il comprend la portion de l'Apennin qui s'étend d'Alexandrie vers Ancône, chaîne de même âge et qui a la même direction. Après avoir étudié quatre de ces systèmes dans les régions du centre de l'Europe, là où des observations ont été faites, il osa étendre ce principe, que *l'identité de direction entraîne l'identité d'âge*, au globe entier. « Car on ne voit, dit-il, aucune limite à l'étendue en longueur d'un système de montagnes » ; ainsi il fait rentrer l'Himalaya dans le système des Alpes.

Dans le court espace de temps qui s'écoula entre la lecture de son mémoire à l'Académie et l'impression dans les *Annales des sciences naturelles*, le nombre des systèmes était porté à neuf ; et dans la traduction française du *Manuel de la géologie* de la Bèche, douze systèmes étaient étudiés. Élie de Beaumont avait tracé le cadre dans lequel venaient s'inscrire d'elles-mêmes, successivement, toutes les observations géologiques relatives aux directions et aux âges des couches et des dislocations qu'elles avaient supportées : chaque géologue apportait sa pierre à l'édifice, et les systèmes de montagnes se créaient pour ainsi dire en dehors de lui. La coordination n'était plus pour lui qu'une question de calcul ou de tracé sur des cartes ; aussi le nombre des systèmes s'accrut-il considérablement, et, en 1867, il en enregistrait quatre-vingt-seize, déclarant que la liste n'était pas close encore.

Les conclusions d'Élie de Beaumont étaient trop im-

portante pour ne pas être vivement discutées parmi ses contemporains. Parmi les critiques (*), une grande partie n'était pas fondée ; mais quelques-unes lui donnèrent l'occasion de reviser et compléter ses premiers aperçus.

De la manière même dont Élie de Beaumont avait essayé de déterminer par induction l'âge des chaînes de montagnes dont il ne connaissait que le tracé sur les cartes, on avait pu conclure que, pour lui, l'identité de direction entraînait l'identité d'âge. En 1832 Conybeare montra que le sud de l'Angleterre avait éprouvé, à deux époques très-éloignées, des dislocations ayant la même direction ; à ce premier exemple sont venus s'en ajouter d'autres, et Élie de Beaumont admettait déjà en 1833 que quatre fois, sur les douze systèmes reconnus à cette époque, des directions très-voisines, pratiquement identiques, s'étaient produites. Il montra plus tard que ce fait n'était pas complétement en opposition avec le principe de l'indépendance des systèmes de montagnes, c'est-à-dire de la différence de direction de deux systèmes d'âges différents.

Si vous vous supposez un instant au pôle, et que vous vous trouviez en présence de deux systèmes de montagnes, l'un dirigé suivant le méridien de Paris, par exemple, l'autre suivant celui de Constantinople, vous n'hésiterez pas à considérer ces deux systèmes comme différents, puisqu'ils se coupent sous un angle de 20 degrés ; si maintenant vous suivez chacun de ces systèmes jusqu'à l'équateur, ils se trouveront dirigés du nord au sud tous les deux, et la direction ne vous fournira aucun moyen de distinguer ces systèmes l'un de l'autre dans le voisinage de l'équateur. Ainsi deux systèmes confondus en une région peuvent être néanmoins distincts dans une autre.

(*) Ainsi M. Boué, en 1833 (*Bulletin de la Société géologique*), lui reproche d'avoir considéré comme tertiaire le nagelflüe du Righi, qui, dit-il, vu sa hauteur, ne peut être que crétacé.

Une autre difficulté plus grave fut signalée par Élie de Beaumont lui-même : c'est qu'une dislocation unique pouvait avoir donné lieu à plusieurs directions. Ainsi le grand accident qui a froissé et replié sur elles-mêmes les couches du terrain houiller est connu, depuis la Westphalie jusqu'au canal de Bristol; mais la direction, qui est presque est-ouest en France, devient presque nord-est au sud-ouest, en s'approchant du Rhin, et le changement de direction se fait d'une manière très-brusque.

Comme d'après Élie de Beaumont cette direction nord-est au sud-ouest existait déjà avant le dépôt du terrain houiller, il admet que la nouvelle dislocation a emprunté la direction d'un système préexistant. Il faut avouer que si l'on réunit ces deux circonstances, qu'une direction unique dans un pays peut appartenir à plusieurs systèmes ou correspondre à plusieurs époques, et qu'à une même époque peuvent correspondre des directions différentes, la doctrine de la correspondance de l'âge et de la direction est très-ébranlée. Cela prouve au moins qu'il faut prendre beaucoup de précautions quand on l'emploie, et que les inductions géologiques faites sur de simples cartes géographiques risquent souvent de tomber à faux; en d'autres termes, la géologie ne peut pas se réduire à de simples questions de géométrie.

Je ne veux pas terminer cette analyse des premiers travaux d'Élie de Beaumont sur cette conclusion négative.

Des exceptions dans une matière aussi complexe ne doivent pas nous empêcher de reconnaître la règle générale, qui est le parallélisme et surtout la direction rectiligne des grands accidents de la surface du globe.

Dans les massifs en apparence le plus enchevêtrés, le plus inextricables, vous verrez, en consultant les cartes de plus en plus récentes, la netteté de ce principe s'accuser davantage. A la place des arêtes de poisson plus ou moins sinueuses des anciennes cartes, se dessinent des crêtes

droites, des vallées à cours presque rectilignes, qui pénètrent les unes dans les autres sans s'infléchir. Nos belles cartes du Dépôt de la guerre, et l'admirable petite carte de la Suisse, réduction de celle du général Dufour, en sont des exemples frappants.

Plus grand sera l'ensemble que vous considérerez, mieux s'accuseront ces directions maîtresses, qui sont toujours un reflet de la structure profonde du pays. Ce n'est pas aux géologues des pays de plaine qu'il faut demander quel profit on peut tirer de la connaissance de la direction pour débrouiller les questions complexes, mais aux montagnards. Un des maîtres de la géologie suisse (*) s'exprimait ainsi en 1835, en parlant des travaux d'Élie de Beaumont : « Dans les sciences naturelles, ce ne sont pas tant les nouvelles découvertes, souvent dues au hasard, que les nouvelles méthodes, qui font faire à la science les progrès les plus rapides et les plus assurés. » L'introduction dans la géologie du principe des grands alignements, qui est due tout entière à Élie de Beaumont, est une de ces méthodes qui renouvellent une science, et qui ont trouvé des applications aussi bien dans l'étude des filons métallifères que dans les questions purement théoriques.

Ce sont ces directions que nous allons maintenant chercher à coordonner, en suivant toujours pas à pas Élie de Beaumont, et particulièrement sa notice de 1852, notice où il avait reconnu vingt-quatre systèmes. Choisissons en particulier une des directions bien marquées dans un pays ; marquons sur une carte, ou mieux sur un globe terrestre, tous les accidents contemporains qui lui sont parallèles, et suivons ces accidents de proche en proche sur le globe, autant que nous le permettra l'état de nos connaissances géologiques et géographiques. Nous verrons tous les traits ainsi marqués se masser sur une petite portion de la surface du globe ; et

(*) M. Studer.

si la monture de notre globe nous permet de l'orienter dans toutes les directions possibles, nous arriverons, avec un peu de tâtonnement, à l'installer de telle sorte que les petits traits se trouvent parallèles au cercle de cuivre qui figure l'équateur dans la position normale du globe, et disposés à peu près en groupes d'égale importance au-dessus et au-dessous de ce cercle; traçons maintenant ce cercle sur le globe : nous aurons obtenu ce qu'Élie de Beaumont nommait *le cercle de comparaison d'un système de montagnes.* Ce procédé rapide est plus grossier que celui qu'employait Élie de Beaumont, mais il conduit à peu de chose près au même résultat.

Il est très-intéressant de comparer les vingt-quatre cercles auxquels Élie de Beaumont s'était arrêté à cette époque, avec ceux que d'autres observateurs, notamment M. Pissis, avaient déjà mis en évidence en 1848. M. Pissis avait observé que les contours des continents présentent de très-grands alignements presque droits ; qu'en traçant sur la sphère terrestre quinze grands cercles convenablement choisis, on pourrait ramener les contours des continents à n'être plus formés que d'alignements droits, parallèles aux cercles qui passent près d'eux ; il est très-remarquable que sur quinze des grands cercles de M. Pissis, quatorze étaient parallèles aux systèmes trouvés par Élie de Beaumont. De plus, six de ces cercles se croisaient en un point unique, deux autres points d'intersection en réunissaient chacun quatre. et enfin un quatrième point était commun à trois cercles.

Cette coïncidence entre des lignes théoriques déduites les unes de formes générales des continents, l'autre de l'examen de quelques systèmes de montagnes presque tous européens. ne doit pas nous étonner ; les chaînes de montagnes sont les véritables os des continents ; les formes de ceux-ci, bien qu'arrondies et façonnées en dernier ressort par les eaux, sont aussi étroitement liées aux directions des chaînes que les contours du corps humain à la disposition

de notre squelette. Cette coïncidence est assurément de nature à nous donner confiance dans la voie ouverte par Élie de Beaumont, et où nous allons le suivre.

Des vingt-quatre cercles tracés sur la sphère, la première chose qui nous frappe, c'est que ces cercles viennent converger vers des espèces d'étoiles ou de ronds-points, et se coupent très-souvent à angle droit, à 45°, ou de manière que l'une des lignes partage en parties égales l'angle de deux autres. Si l'on calcule les angles que forment entre eux, deux à deux, tous les cercles, on voit les mêmes angles se répéter un grand nombre de fois; le réseau formé par ces différents cercles a donc des éléments de régularité, de symétrie; et si nous voulons chercher un système de cercles, un réseau qui les contienne tous, c'est à un réseau régulier que nous devons nous adresser.

Mais le choix qu'on peut faire d'un réseau régulier sur une sphère est très-limité. Si l'on veut placer sur une sphère un système de points assujettis à cette condition que chacun soit également distant de tous ceux qui l'entourent, ce qui est la condition fondamentale de tout système régulier, vous verrez qu'il n'y a que trois manières d'y arriver, soit en prenant quatre points, soit en en prenant six ou enfin douze; en joignant ces points de manière à former des triangles équilatéraux, on formera quatre, huit ou vingt de ces triangles tous pareils entre eux, sur toute la sphère, et l'on emploiera pour le faire six, trois ou quinze grands cercles. La maille fondamentale qui est le quart ou le huitième de la sphère est trop grande dans les deux premiers systèmes pour nous être utile, tandis que la dernière, qui contient 1/20e seulement et nous donne immédiatement quinze grands cercles, se coupant sous des angles variés, l'angle droit, 72° et 60°, angles qui eux-mêmes s'étaient présentés souvent sous la plume de M. de Beaumont lorsqu'il avait calculé les positions des cercles de comparaison des systèmes de montagnes.

C'est ce dernier système que M. de Beaumont résolut d'essayer. Il fit alors un filet dont les mailles étaient la sixième partie des triangles équilatéraux et qui embrassait la sphère entière, puis déplaça ce filet sur un globe terrestre jusqu'à ce que les fils qui le formaient présentassent un ajustement convenable avec les formes des continents, il se trouva que trois cercles à la fois embrassant le huitième de la sphère pouvaient coïncider avec trois de ses fils ; l'nn joignant l'Etna au Mouna-Roa, l'autre l'Etna à Ténériffe, et un troisième suivant la grande traînée volcanique des Andes du Chili, de sorte que ces trois cercles ramassent en quelque sorte la plus grande partie des volcans du globe.

Il est véritablement surprenant qu'une figure géométrique aussi simple que celle qui est sous vos yeux (voir *fig.* 5, Pl. V), appliquée sur le globe de telle manière qu'un de ses côtés suive la ligne Etna-Ténériffe, donne en même temps par ses autres côtés et quelques lignes d'une construction simple les cercles qui représentent le mieux les systèmes de montagnes, et s'adaptent le mieux aux figures des continents. La ligne qui joint l'Etna au Sinaï se trouve être en même temps la meilleure ligne qui puisse servir de base au système des Pyrénées ; le grand cercle qui longe la côte du Brésil et en même temps celle du Maroc vient passer juste au centre de la figure qu'Élie de Beaumont a appelée le pentagone européen. Enfin tous les systèmes de montagnes connus ont trouvé leur place, soit dans ceux qui sont tracés sur le tableau, soit dans ceux qu'on obtient en joignant entre eux les points d'intersection de ces cercles.

Je ne peux, sans globe à mettre sous les yeux de chacun de vous, vous faire apprécier l'exactitude et la portée de ces coïncidences, auxquelles Élie de Beaumont ajoutait de jour en jour une importance croissante, et qui l'ont entraîné aux calculs numériques, longs et pénibles, dont il présentait en 1868 les résultats à l'Institut, calculs qui devaient permettre de tracer son réseau favori sur toutes les cartes.

Les systèmes de représentation de nos cartes, dès qu'elles embrassent des régions un peu étendues, sont si imparfaits, qu'ils défigurent considérablement tout ce qui s'éloigne du centre de la carte, et que sur aucune d'elles on ne peut tracer un grand cercle simplement avec une règle ; les faits fondamentaux, la base des travaux d'Élie de Beaumont échappent dès lors à l'œil. Cette lacune doit, si je ne me trompe, être bientôt comblée par la publication d'un atlas *ad hoc*. Le parrallélisme des chaînes éloignées deviendra alors évident, et chacun pourra s'éclairer sur la valeur de ces coïncidences.

Élie de Beaumont n'était pas le premier qui se fût préoccupé de chercher des relations simples entre les directions des couches des systèmes de montagnes ou des formes des continents. Les rapports généraux des formes des continents, la terminaison en pointe vers le sud, les positions analogues de Ceylan et de la Terre de Feu, les intersections à angle droit des traînées des îles volcaniques du Pacifique, ont de tout temps préoccupé les géographes. Lorsque M. de Humboldt partit en 1798 pour l'Amérique, il était préoccupé d'idées semblables. Les couches des terrains qu'il avait observées en Saxe et dans une portion des Alpes étaient dirigées nord-est, et il en avait conclu hâtivement que c'était la loi générale du globe. La lettre par laquelle il annonce son arrivée à Caracas, où il avait trouvé encore les couches nord-est, était pleine d'enthousiasme ; mais peu de jours après il atteignait les Andes, et voyait alors la direction nord-sud régner sur une immense étendue. Cette préoccupation repose sur le principe même de l'esprit scientifique ; ce n'est pas à notre époque, où l'on veut soumettre au calcul les mouvements si capricieux en apparence de l'atmosphère et même les sensations de l'homme, que l'on doit traiter de chimérique la recherche de la solution du problème qu'Élie de Beaumont s'était posé. Les phénomènes qui ont donné à la terre sa forme

actuelle sont tous du domaine inorganique ; tous sont soumis à des lois que nous connaissons en partie ; aucun n'est abandonné au hasard, et nous devons prévoir et hâter le jour où la théorie de la terre permettra aux géologues de déterminer par le calcul les états successifs par lesquels a passé le globe, comme les astronomes le font pour le ciel, en partant de quelques principes simples.

Jusqu'ici je n'ai eu à vous parler que de faits ; il est temps d'essayer de remonter à leur cause. Regardez encore une fois ces couches plissées du terrain houiller de nos contrées. La nature n'est-elle pas prise sur le fait, et peut-on nier la compression énergique qui venant du sud, a refoulé sur elle-mêmes ces assises épaisses de plusieurs milliers de mètres, qui a poussé comme un coin gigantesque le bord sud de cette fente et l'a obligé à gravir ce plan incliné. A la même époque, dans les monts Appalaches, la même chose se produisait, et si je n'ai pas dessiné la structure de ces montagnes, c'était pour ne pas produire deux fois la même figure. Prenons un autre exemple. Voici (*) une coupe des Alpes près de Chamounix. Les couches se sont repliées sur elles-mêmes ; la compression a été si violente que la masse granitique du mont Blanc, écrasée et laminée, s'est divisée en feuillets verticaux qui, s'élançant d'un seul jet vers le ciel, ont produit ces formes hardies des aiguilles de la chaîne du mont Blanc.

Ici encore, à une époque moderne, nous retrouvons le même phénomène qu'à l'époque houillère : une grande fente sur laquelle a remonté un massif énorme : dans les deux cas la surface de la terre a diminué, comme celle d'une feuille de papier que l'on replie sur elle-même ; et ce n'est pas en un point seulement, mais sur une immense

(*) La coupe des Alpes exposée à la séance était une reproduction de la figure donnée par M. Lory. (*Bulletin de la Société géologique.*)

étendue, que ces faits se sont produits. Depuis l'Espagne jusqu'à l'empire des Birmans, nous pouvons cheminer sans quitter la montagne, sans cesser de trouver partout des traces de cassures récentes du globe. Comme le bourrelet des Alpes sépare de la plaine du Pô le haut plateau de la Bavière, la chaîne colossale de l'Himalaya sépare la plaine du Gange du plateau du Tibet. Entre les deux s'étend le massif déchiqueté profondément de la Turquie et de la Grèce, l'Asie Mineure et la Perse, divisées en petits plateaux à des hauteurs différentes. Partout nous trouvons des traces de dépôts marins, peu anciens, disloqués et portés à des milliers de mètres au-dessus de leur position primitive. Nous ne sommes pas ici en présence d'un événement local, Sur toute cette surface, l'enveloppe extérieure de notre planète a dû se plisser sur elle-même, gagnant en hauteur ce qu'elle perdait en développement horizontal. Si la surface de la terre a ainsi diminué chaque fois qu'un système de montagnes s'est produit, c'est que le volume du noyau même a diminué aussi. Et l'écorce ne peut se prêter à une diminution de volume du noyau qu'en fléchissant, en se gondolant d'abord et en se brisant lorsque les flexions ont dépassé ce qu'elle pouvait supporter. En même temps les portions plus voisines de la ligne de rupture pressées les unes sur les autres ont dû se rider et produire une série de bourrelets parallèles à cette ligne.

Mais à mesure que notre globe a vieilli, ces systèmes se sont multipliés et la surface du globe s'est rapprochée comme aspect de nos chaussées pavées, où malgré l'habileté des ingénieurs il existe toujours des inégalités relativement bien plus considérables que les plus hautes chaînes de montagnes du globe. Si de nouvelles fentes doivent se produire dans notre écorce ainsi divisée en petits compartiments elles épouseront de préférence les directions des anciens joints. Leurs inflexions, leurs irrégularités viendront témoigner de l'existence antérieure, dans la partie profonde

du sol, de dislocations que les couches récentes cachaient à nos yeux comme les enduits des murs cachent momentanément les joints des pierres. Dans chacun des zigzags de la nouvelle fracture se reproduiront les traits anciens les plus voisins de la direction générale du nouveau ridement.

Si la géologie, si l'examen minutieux des documents de l'histoire ancienne du globe, nous a révélé ces fractures, ces plissements gigantesques, nous n'aurons qu'à regarder autour de nous pour voir les traces de ces mouvements préliminaires, de ces bossellements généraux de la surface du globe. Sous nos yeux, les îles du Spitzberg et les côtes de la Norwége s'élèvent, et nous connaissons en plusieurs points la mesure exacte de ce soulèvement, tandis que de grandes portions de l'océan Pacifique s'enfoncent graduellement, permettant aux coraux d'élever assise par assise des récifs dont le pied est à plus de 1.000 mètres au-dessous du niveau de la mer sans que les zoophytes constructeurs cessent de se trouver dans les eaux superficielles et chaudes qui leur conviennent.

Malgré la fixité apparente du sol, même dans les régions où les tremblements de terre sont inconnus, nous ne pouvons citer avec certitude un point où le niveau relatif de la terre et de la mer n'ait pas changé depuis une époque peu éloignée.

Il en était de même autrefois; aux époques géologiques, les rivages se déplaçaient graduellement, lentement, témoignant ici d'une dépression, là d'un exhaussement du sol; c'est donc une cause actuelle agissant encore comme elle a agi depuis les temps les plus anciens, qui produit ces mouvements séculaires de l'écorce de la terre, cette diminution constante du volume de la terre. Cette cause, c'est dans le refroidissement de la terre qu'Élie de Beaumont l'a cherchée.

Habitants de la surface, nous rapportons volontiers et

avec raison au soleil les variations de température que nous subissons. Mais quand nous pénétrons profondément dans le sol, nous atteignons d'abord une couche où l'influence des saisons ne se fait pas sentir; plus bas la température va sans cesse en augmentant, tantôt plus rapidement, tantôt plus doucement suivant la nature des terrains. Mais nous savons que la chaleur va toujours du corps le plus chaud au corps le plus froid; ainsi les couches profondes doivent céder à chaque instant de la chaleur aux couches superficielles, et si la température moyenne de celles-ci ne change pas, c'est qu'elles rayonnent vers l'espace la chaleur qu'elles ont reçue; servant ainsi d'intermédiaire entre les couches profondes et les espaces célestes, sans gagner ou perdre elles-mêmes de chaleur d'une manière sensible. Indépendamment de cette première cause de perte de chaleur, les couches profondes envoient, à la surface, des eaux thermales en masses considérables. Supputez la totalité des sources, ajoutez-y les laves des volcans, et vous trouverez d'énormes quantités de chaleur apportées des couches profondes du globe à sa surface. Ces phénomènes-là ne sont pas non plus restreints à l'époque actuelle. Dans tous les temps géologiques il y a eu des sources thermales, dont les canaux tapissés des matières qu'elles y ont déposées sont exploités par les mineurs; dans tous les temps des roches plus ou moins voisines des laves sont venues au jour par les fentes de l'écorce, apportant aussi de la chaleur du fond. Aussi loin que nous puissions voir en arrière, toujours la partie centrale a projeté sa chaleur à l'extérieur; voilà donc une cause toute naturelle, actuelle et ancienne, qui explique bien simplement la contraction dont nous voyons les traces. Si le globe se contracte, s'il diminue de volume, c'est qu'il se refroidit.

Si le globe se refroidit ainsi depuis l'époque déjà bien reculée à laquelle nous commençons à saisir des traces de la vie à sa surface, sa masse était alors notablement plus

chaude qu'aujourd'hui, et nous sommes encore obligés d'admettre que la chaleur qu'il possédait alors lui venait d'un temps antérieur sur lequel l'observation directe ne nous apprend que bien peu de chose. En remontant de plus en plus la suite des siècles, nous sommes amenés à concevoir dans la nuit des temps un moment où la terre entière était liquide et même gazeuse par l'effet de la température élevée qui y régnait. Notre hypothèse n'est plus qu'une conséquence de celle qui, depuis Laplace, est acceptée par les astronomes pour expliquer le mode de formation du système solaire,

Cette hypothèse seule satisfait à toute les conditions du problème que les géologues ont à résoudre. D'elle seule découle naturellement la forme sphéroïdale du globe, l'absence de vie pendant la première période de son existence, et avant que la terre et les eaux ne fussent séparées. Cette hypothèse est d'accord avec ce fait constaté aujourd'hui que dans les temps géologiques anciens, par exemple à l'époque où se sont formés les bassins houillers, les climats étaient les mêmes sur toute la surface du globe, comme nous pouvons en juger par la distribution des plantes à cette époque. Pour nous rendre compte de ce qui a dû se passer, examinons ce qui arrive quand un gros lingot de métal vient d'être coulé. La surface arrive rapidement à être assez froide pour qu'on puisse la toucher, et à partir de ce moment son refroidissement devient très-lent. L'intérieur du lingot peut cependant être encore très-chaud, rouge même. Une fois ce moment atteint, la surface se refroidira bien plus lentement que l'intérieur, car si nous attendons deux jours, par exemple, pendant ces deux jours la température de l'intérieur du lingot se sera abaissée du rouge jusqu'à la température de l'air, tandis que celle de la surface se sera abaissée de 15 à 20 degrés seulement. Ainsi nous avons deux périodes à distinguer : la première très-courte, dans laquelle la surface se refroidit

très-vite, plus vite que la masse ; la secondè plus longue, dans laquelle la surface se refroidit moins vite que la masse.

Pour la terre, il en a été vraisemblablement de même. La température de la surface s'est abaissée rapidement d'abord, puis elle est devenue assez froide pour que l'eau liquide pût y exister, et quelque temps après la vie — c'est l'état du lingot auquel on peut toucher bien qu'il soit encore chaud. A partir de ce moment la température de la surface ne varie plus que d'une manière insensible, tandis que le noyau perd toujours sa chaleur ; en même temps il se contracte, tandis que la surface garde la même ampleur et se plisse pour s'appliquer sur lui.

Tel est le système d'Élie de Beaumont. Si j'ai réussi à vous le faire saisir, vous devez être frappés de l'enchaînement logique des idées et de la correspondance générale qui existe entre la marche réelle des choses et les déductions successives de l'hypothèse fondamentale et unique qu'il a empruntée aux astronomes.

Tous les géologues n'ont pas adopté cette manière de voir. En même temps que sous la plume d'Élie de Beaumont se développaient les idées que je viens de vous exposer, parallèlement, pour ainsi dire, se succédaient les écrits de Lyell, chef d'une école que je ne puis appeler anglaise, puisque ses principes ont toujours été repoussés par de la Bêche, par Murchison et les autres fondateurs de la géologie anglaise, mais *uniformitaire*, si vous voulez me permettre ce mot, forgé du reste par un de ses compatriotes (*).

Les géologues de cette école posent en principe : qu'il est irrationnel de chercher, pour expliquer les phénomènes anciens, des causes autres que les causes actuellement existantes, ce que tout le monde accordera sans peine ; mais ils admettent implicitement aussi que jamais ces causes

(*) Le docteur Whewell.

n'ont eu une intensité plus grande qu'aujourd'hui, ce qui est une supposition tout à fait gratuite.

Pour expliquer les phénomènes grandioses dont notre globe a été témoin, ils appellent à eux l'aide du temps. Ils caractérisent notre école révolutionnaire; c'est ainsi qu'ils nous appellent par les mots « prodigue de violence, avare de temps ». L'école uniformitaire est, de son côté, bien prodigue de temps, car elle estime à 2 ou 300 millions d'années le temps qui s'est écoulé depuis la fin de la période tertiaire moyenne.

Il faut bien admettre cependant que cette structure si remarquable des chaînes de montagnes ne peut pas être le résultat de mouvements, si prolongés qu'ils soient, de la nature de ceux que nous voyons actuellement dans le nord de l'Europe. L'action volcanique ne produit pas non plus de chaînes de montagnes. La croûte terrestre se fend, la fente se remplit de laves qui montent à la surface, se déversent sur la terre, ou s'empilent les unes sur les autres, en même temps que les vapeurs qui s'en échappent projettent au loin des scories; mais les couches mêmes de l'écorce sont à peine dérangées. Restent donc les tremblements de terre, qui de tous les phénomènes actuels sont ceux dont les effets présentent le plus d'analogie avec un soulèvement de montagnes, réduit à une échelle microscopique. On a vu en 1822, au Chili, une surface égale à la moitié de la France soulevée d'un seul coup de plusieurs mètres; probablement, parmi les fentes du sol, y en a-t-il plusieurs qui ont joué à ce moment et dont les parois ont glissé l'une sur l'autre; et l'on a des preuves que ce fait s'est produit plusieurs fois depuis que le continent américain a pris sa forme actuelle. Pour produire des accidents comme ceux dont je vous ai entretenus, il faudrait donc qu'un phénomène identique se fût produit plusieurs milliers de fois au même point.

Ces tremblements de terre sont parfois terribles dans

leurs conséquences. On a évalué à quarante mille le nombre des personnes mortes dans le tremblement de terre de 1783 en Calabre. Dans notre siècle même, les tremblements de 1812 à Caracas, de 1815 à Sumbava, ont coûté la vie à douze mille personnes au moins chacun. Pour les habitants des régions voisines, ces événements méritent bien le nom de catastrophes. Y a-t-il une raison quelconque qui nous prouve que des catastrophes semblables ne peuvent pas se produire sur une plus grande échelle ? Aucune, si ce n'est qu'on n'en a pas encore vu ? Or, si un Latin de l'époque de Pline avait voulu expliquer par des éruptions du Vésuve la forme et la structure du volcan, n'aurait-on pas pu lui reprocher de faire intervenir des causes étrangères à la nature actuelle, ou d'attribuer à des causes actuelles une énergie plus grande qu'elles ne le comportent réellement, puisque de mémoire d'homme, c'est-à-dire depuis la première colonisation grecque, on n'avait jamais vu le Vésuve donner un signe d'activité.

De ce côté, du reste, entre l'école uniformitaire et celle d'Élie de Beaumont, il y a moins de désaccord qu'il ne semblerait ; ce n'est guère qu'une question de mesure. Si le chef reconnu de la première, contraint par l'évidence, se laisse aller à parler de cataclysmes, de révolutions, lorsqu'il décrit les scènes alpestres (*), les opinions d'Élie de Beaumont avaient aussi notablement changé depuis l'origine.

A ses débuts, la géologie était encore bien voisine de l'enfance ; les observations peu nombreuses et peu étendues ne restreignaient pas assez la place que prenait l'imagination. Cette grande liberté laissée à la folle du logis semblait être un charme de plus. Depuis la critique a repris ses droits, et n'a pas épargné les plus grands noms.

En 1830 Cuvier régnait ; il avait déclaré que les animaux qui avaient habité notre globe avant l'homme avaient

(*) Lyell, *Principes*.

été tous détruits par une révolution subite ; plus tard il déclara que d'autres révolutions avaient précédé celle-là, et avaient également détruit tous les êtres déjà existants. La terre avait ainsi passé par une suite de destructions totales, subites, de toute la nature vivante et de créations complètes. Qui pouvait mieux parler de ces faits que Cuvier, à la voix duquel ces ossements épars venaient se placer les uns à côté des autres, en même temps que sa puissante intelligence reconstituait les muscles et jusqu'à la forme extérieure des animaux auxquels ils avaient appartenu?

Faut-il nous étonner si, à l'abri d'une pareille autorité, la doctrine des révolutions subites était admise en zoologie, et si Élie de Beaumont cherchait à faire coïncider les dates des soulèvements des premières chaînes de montagnes qu'il observait, avec les démarcations tranchées de Cuvier ; si, pour justifier les effets destructeurs de ces soulèvements, il avait exagéré leur amplitude ? Cette manière de concevoir l'histoire de la terre était déjà un tel progrès sur les romans qui étaient le fond de la géologie ancienne, qu'elle fut adoptée d'une manière presque générale en France, et que longtemps après qu'Élie de Beaumont y avait renoncé, d'Orbigny, le vulgarisateur de la géologie en France, la maintenait encore.

Des observations ou plutôt des renseignements imparfaits avaient contribué aussi à égarer Élie de Beaumont, mais il ne tarda pas à amender son premier système ; tandis qu'il ne déplaisait pas à Arago de voir les montagnes pousser comme des champignons, Élie de Beaumont reconnaissait de plus en plus que les grandes chaînes, les plus élevées, avaient pris une partie de leur relief à des époques diverses ; que les Pyrénées, par exemple, qu'il avait cru, sur la foi de leur simplicité géographique, élevées en une seule fois, portaient les traces de six ou sept systèmes de dislocation d'âge différent, et que les reliefs les plus accusés étaient dus à la répétition des mêmes phénomènes à des époques

diverses, ce qui diminuait d'autant la part revenant à chacun de ces systèmes. De plus, il avait reconnu aussi que l'accident caractéristique du système des montagnes, la discordance de stratification, était facile à suivre en longueur sur de grandes distances, mais que transversalement cette discordance disparaissait rapidement ; que des terrains discordants en France et en Irlande, par exemple, pouvaient être concordants en Angleterre ; de sorte que le ridement et l'écrasement correspondant à une époque déterminée ne s'étendent jamais qu'à une faible partie de la surface de la terre. Si, par exemple, un ridement a diminué la circonférence terrestre de 40 kilomètres, il ne faut pas oublier que ces 40 kilomètres ne sont que la millième partie de la circonférence ; or ce ridement peut amener des dislocations considérables là où il se produit, mais non troubler la sphère entière au point d'y éteindre la vie. Les opinions d'Élie de Beaumont ont été si souvent méconnues que je dois vous citer textuellement un passage bien net de lui à cet égard.

« En 1834, dit-il, je m'élevai déjà contre l'opinion qui regarderait chacune des révolutions de la surface du globe comme ayant déterminé non-seulement des déplacements, mais encore un renouvellement des êtres vivants.

« Lorsque les fossiles de tous les terrains seront parfaitement connus, ils formeront par leur ensemble une série aussi continue que l'est aujourd'hui la série partielle des terrains jurassiques et crétacés, ou celle des terrains paléozoïdiques, et sans cesser d'identifier les couches d'après leurs fossiles, les géologues seront ramenés à baser les divisions des terrains sur leur gisement (*). »

Il y a donc accord entre Élie de Beaumont et l'école opposée sur l'absence de toute catastrophe violente et soudaine sur toute la terre ; il y a accord aussi sur ce que, en

(*) *Bulletin*, § IV, p. 384, 1834.

un point déterminé, les périodes de repos où la sédimentation a été tranquille et prolongée ont été infiniment plus longues que les époques de troubles, de perturbations ou de convulsions, comme on voudra les appeler.

Mais le désaccord commencera à s'accentuer, si nous cherchons à remonter aux causes de ces perturbations.

Les géologues de cette école admettent bien que la terre peut avoir été autrefois plus ou moins liquide, plus ou moins chaude ; mais si c'est vrai, disent-ils, il y a si longtemps, que toute trace de chaleur primitive s'était évanouie avant les premiers temps géologiques auxquels nous pouvons remonter. Un de ces adeptes disait même récemment que la croyance à la chaleur centrale n'était qu'un reste des traditions mythologiques des Grecs, « un vieil avatar de l'ancien mythe du Tartare (*) » ; il faisait ressortir combien il était singulier de ne pas trouver partout le même accroissement de température, lorsqu'on pénétrait dans les couches profondes du sol ; enfin, tirant parti d'un sondage qui, comme tous les autres, avait donné des températures croissantes, mais de moins en moins rapidement, il s'écriait : « Un résultat semblable serait-il possible si cette source de chaleur existait au centre de la terre ? Comment veut-on prouver au simple bon sens qu'en approchant son doigt d'une flamme, il faut parcourir des distances de plus en plus grandes, à mesure qu'on s'approche, pour sentir plus de chaleur ? N'arriverait-on pas à la conclusion la plus invraisemblable, pour n'en pas dire plus, savoir : qu'en approchant du noyau incandescent, il faudrait faire même des milliers de mètres pour trouver une augmentation d'un degré (**) ? »

Malheureusement pour sa thèse, personne n'a songé à assimiler l'intérieur de la terre à la flamme d'une chandelle,

---

(*) Vogt, *les Volcans*. Association française pour l'avancement des sciences, 2e session, p. 1048.

(**) Vogt, *idem*, p. 1047.

où la chaleur est renouvelée constamment par la combustion. Pour la terre, ce n'est pas la chaleur centrale qui est inépuisable, mais le froid extérieur, dont l'action est d'autant moins sensible qu'on s'enfonce davantage.

Aussi, quand les adversaires de la chaleur centrale viennent nous opposer les chiffres fantastiques que l'on trouverait si la température allait en augmentant sans cesse d'un degré pour 30 mètres, par exemple, devons-nous leur répondre que, précisément en vertu des lois du refroidissement, cette augmentation de la température doit aller en décroissant très-rapidement, même en supposant l'intérieur du globe aussi mauvais conducteur de la chaleur que la surface.

Tout en voulant nier l'existence d'une chaleur centrale, cette école est bien obligée à faire intervenir la chaleur, lorsqu'il s'agit d'expliquer les mouvements généraux d'élévation ou d'abaissement de grandes régions géographiques. Lyell calcule qu'un banc de grès d'une lieue d'épaisseur augmente d'environ $0^m,07$ par degré centigrade, et que, par conséquent, un banc de 50 lieues d'épaisseur, s'il s'échauffait de 100° centigrades, augmenterait de 350 mètres; il observe que le granit fondu, cristallisant, doit au contraire diminuer de volume. Partant de là, il suppose que la chaleur se transportant successivement dans les différentes régions du globe, certaines parties se trouvent échauffées et dilatées, tandis que les autres se refroidissent et se contractent. Il faut alors expliquer pourquoi et comment cette chaleur voyage ainsi à travers la sphère terrestre sans se perdre; car si l'on veut renverser la théorie d'Élie de Beaumont, il faut montrer qu'elle est contraire aux faits observés, ce qu'on n'a pas fait, ou nous donner au moins une solution acceptable. Cette explication, je la traduis textuellement (*) : « L'existence de courants électriques dans

(*) Lyell, *Principles of geology*, vol. II, p. 244, 1872.

la croûte terrestre, et les changements de direction qu'ils peuvent subir après de grandes révolutions géologiques dans la position des chaînes de montagnes, des continents et des mers, les rapports du magnétisme solaire et du magnétisme terrestre, de ce dernier avec l'électricité et l'action chimique, peuvent nous aider à concevoir un cycle de changements tel que la chaleur supposée perdue par rayonnement soit réellement rendue à la planète. »

Je n'ai pas besoin de vous faire remarquer que ce n'est pas par la simplicité que brille cette solution, et que si quelqu'un a pu concevoir ce cycle en question, personne n'en a donné le détail. Au fond ce n'est pas un système, mais l'expression du désir qu'on en puisse trouver un, permettant de maintenir l'idée fondamentale que rien n'a été changé dans l'ensemble de la terre depuis les premiers temps géologiques.

C'est la chimère du mouvement perpétuel qui, chassée de la mécanique, veut se réfugier dans la géologie. Contre une pareille doctrine il est donc nécessaire de protester. Le seul fait que dans tous les sondages sans exception, même ceux faits en Sibérie à travers plusieurs centaines de mètres de terrains glacés, la température du sol a toujours été en croissant, exige que la chaleur soit à chaque instant communiquée par les couches profondes aux couches superficielles, et de là à l'espace céleste, à moins de nier la loi naturelle que la chaleur va toujours du corps le plus chaud au corps le plus froid. Et cette tendance se manifeste encore sous quelque forme que la chaleur existe. Si les théories modernes nous ont appris que l'affinité chimique, l'électricité et la chaleur ne sont que des formes particulières de mouvement, elles nous ont appris aussi que chaque transformation de ces formes était accompagnée, non d'une perte de chaleur, mais d'une dissémination de celle-ci ; et il est bien plus naturel d'admettre que les causes actuelles ont eu une énergie plus grande autrefois qu'aujourd'hui, que

d'admettre que les phénomènes concernant le globe se passent au rebours des lois de la physique; et c'est vouloir aller contre elles que de supposer que l'énergie totale de notre globe, sous quelque forme qu'elle y existe, ne se dissémine pas petit à petit dans l'espace comme celle du soleil. On ne peut nier d'ailleurs que la chaleur apportée par les laves ne soit réellement perdue par rayonnement; et plus il plaira d'augmenter la durée des temps géologiques, plus on sera obligé d'attribuer de puissance originelle à la cause, non encore amortie, de cet apport perpétuel de chaleur.

Tout indique clairement la marche du monde terrestre vers un état final, l'impossibilité d'un retour en arrière, et en même temps la nécessité d'un commencement, d'une création.

Je reviens à la théorie d'Élie de Beaumont. Nous pourrons la résumer dans un mot : les montagnes et les accidents dont je vous ai entretenus sont les effets de l'action mutuelle de l'enveloppe et du noyau intérieur. Mais là ne se bornaient pas, dans l'esprit d'Élie de Beaumont, les résultats de cette action mutuelle : les fentes de l'écorce sont autant de canaux qui nous mettent en communication avec les couches profondes du globe; ces fentes sont remplies, les unes de produits volcaniques, les autres de minerais métalliques; c'est au milieu d'elles que circulent les eaux qui donnent naissance aux sources minérales. Ces trois sortes de produits, en apparence si différentes, Élie de Beaumont en a montré l'origine commune et la filiation, dans un mémoire (*) de quelques pages qui, sous une forme condensée, retrace l'histoire du globe au point de vue chimique, et dont la conclusion générale est que l'activité chimique du globe, comme son activité mécanique, a été en diminuant pendant les temps géologiques.

C'est dans ce mémoire qu'il a montré quel rôle, non

(*) *Bulletin de la Société de géologie*, 2e série, t. IV, 1847.

soupçonné jusque-là, ont joué les émanations du noyau central, chargées de rajeunir la partie superficielle en lui fournissant sans cesse de nouveaux éléments.

Ces travaux, qui semblent purement théoriques, ont un intérêt pratique considérable. Le hasard, des chances heureuses, ont présidé longtemps à la découverte des richesses minérales; la tâche du géologue est de circonscrire de plus en plus le champ où les recherches des substances utiles doivent être faites pour être productives, d'indiquer au mineur les régions qu'il doit explorer et celles où il ne doit rien espérer; aussi l'exploitation rationnelle de la terre ne datera que du jour où nous serons suffisamment renseignés sur l'origine et le mode de production des matières qui composent son écorce.

Nous pouvons trouver dans les œuvres d'Élie de Beaumont un exemple de l'influence heureuse que la géologie peut et doit exercer. Il n'y a pas un siècle que l'on s'est préoccupé sérieusement du rôle que joue dans les plantes et dans les animaux l'un des éléments les plus essentiels de leur constitution : je veux parler du phosphore. Les squelettes de tous les animaux en contiennent de notables proportions. Ce phosphore ne peut leur venir que des végétaux qui eux-mêmes le puisent dans le sol. Tous les végétaux, et notamment les graines des céréales, en contiennent. Ce phosphore est nécessaire et aussi indispensable à leur existence qu'à la nôtre. Ainsi chaque récolte enlève à la terre arable une partie de son phosphore et l'épuise peu à peu. Quand l'épuisement est complet, la terre devient absolument stérile (*).

Dans l'état de nature, la quantité de phosphore dont la couche arable a été dotée originairement doit rester à peu

(*) Étude sur l'utilité agricole et sur les gisements géologiques du phosphore. Mémoires de la *Société impériale et centrale d'agriculture*, 1856.

près invariable. Les végétaux et les animaux meurent ou sont dévorés sur place, et leur phosphore retourne au sol qui l'a fourni. Au contraire, dans les pays cultivés depuis longtemps, il n'y a pas de parcelle de phosphore qui n'ait passé à plusieurs reprises dans l'estomac de l'homme et des animaux ; en décrivant ce cycle qui la ramène périodiquement dans la terre végétale, elle peut rencontrer des causes qui tendraient à la détourner et à la précipiter dans l'Océan. Les eaux pluviales, en courant à la surface des champs, s'y chargent bien plus de matières minérales qu'elles n'en enlèveraient à une lande ou à une forêt ; de là un déchet dont profitent les parties basses des vallées par l'effet du limon que déposent les inondations, mais qui va en grande partie s'engloutir dans la mer.

Cette perte inévitable, la nature la répare par deux moyens, par les alluvions d'une part (et c'est à cette cause que la vallée du Nil et celle du Gange doivent leur éternelle fécondité), par les phénomènes volcaniques de l'autre. Tandis que la plus grande partie de la Sicile est devenue l'asile de la misère, les pentes de l'Etna, incessamment rajeunies par les cendres et les laves, offrent, au contraire, l'aspect le plus riant. Le Vésuve, l'Etna et Santorin sont couverts de riches vignobles, qui puisent leur phosphore dans les cendres et les laves décomposées sur lesquelles ils croissent.

Ces procédés, parfois un peu terribles, que la nature emploie pour se rajeunir, ne sont pas à la portée de tous, et si nous ne voulons pas voir les champs fertiles de la Beauce et de la Brie frappés à leur tour de dépérissement, nous devons leur restituer chaque année le phosphore que leur enlèvent les récoltes. C'est un devoir d'autant plus étroit que par nos mœurs mêmes nous hâtons cet appauvrissement. Le respect dont nous entourons les restes de nos ancêtres a cette conséquence que nous retirons tous les jours de la circulation une certaine quantité de phosphore

qui, sans notre intervention, aurait été rendue à son rôle naturel; nous diminuons lentement, mais incessamment ainsi, le fonds de roulement de la vie; nous restreignons le nombre des graines, des animaux et des hommes mêmes que la terre peut nourrir. Chaque million d'hommes dont les restes sont ainsi écartés de la circulation représente 400.000 kilogrammes de phosphore, c'est-à-dire le phosphore contenu dans 200 millions de kilogrammes de blé, ou dans la récolte annuelle de 200.000 hectares.

Vous saisissez dès lors quelle importance sociale présente la connaissance des gisements de phosphore, ou, pour être plus rigoureux, des substances phosphorées.

En dehors de la source, on peut dire permanente, des foyers volcaniques, il en existe heureusement d'autres, fruit des économies de la nature dans les temps passés, et qui dans le budget général de la terre pourraient représenter l'excès de ses recettes en phosphore sur les dépenses nécessaires à l'entretien de la vie. Tantôt ce sont les restes mêmes d'animaux éteints depuis longtemps, tantôt des coquilles dont l'intérieur se trouve rempli de matières très-riches en phosphore.

A l'époque ou Élie de Beaumont avait tracé la carte géologique de la France, l'attention publique était peu portée vers ces questions. D'illustres chimistes, et en particulier celui (*) qui pendant longtemps fut l'ami et le collègue d'Élie de Beaumont, avaient signalé le danger et fait connaître ces lois inexorables, prouvé que l'homme, impuissant à rien créer, est astreint, sous peine de déchéance, à ne rien laisser perdre. Mais la masse des agriculteurs ne se préoccupa que tardivement de l'importance des phosphates. Comme il arrive toujours en pareil cas, les besoins furent d'autant plus étendus qu'ils avaient été méconnus plus

(*) Dumas, *Statique chimique*, etc., *passim*.

longtemps, et la France dut tirer de l'étranger et payer des quantités considérables de phosphates.

Quelques gisements étaient connus en France, mais comme curiosité scientifique; cependant le jour où il fut consulté, Élie de Beaumont montrant une petite bande qu'il avait coloriée en vert sur la carte géologique de la France, put dire : Cherchez tout le long de cette petite bande, et vous trouverez. L'an dernier, dans sa séance annuelle, l'Académie récompensait l'homme qui, fort de cette parole, avait avec persévérance exploré du Boulonnais aux Alpes-Maritimes, cette étroite bande de terrain, retrouvé partout les précieux nodules de phosphate, et doté par son activité notre pays d'une nouvelle source de richesse.

Vous me saurez gré, messieurs, d'arrêter ici cet exposé des travaux d'Élie de Beaumont. Si je n'ai pas été indigne de l'honneur que m'a fait votre comité, vous aurez compris combien de pareils travaux illustrent l'homme qui les a produits; vous aurez compris l'influence qu'il a exercée et en France et à l'étranger, et combien était légitime l'autorité de son nom. Vous aurez compris aussi quelle attitude respectueuse m'était imposée, et comment mon rôle devait se borner à exposer et non à apprécier ses œuvres.

APPENDICE.

Dans une exposition aussi rapide des travaux d'Élie de Beaumont, on a dû forcément passer sous silence bien des points importants; c'est ainsi que l'exécution de la *Carte géologique de la France*, que les deux volumes de ses *Leçons de géologie pratique*, n'ont pas été mentionnés, bien que chacune de ces œuvres eût mérité à elle seule de longs développements.

Il a été également difficile de distinguer complétement

ce qui revient personnellement à Élie de Beaumont des idées qu'il avait empruntées à ses prédécesseurs. Il a eu soin cependant, dans chacun de ses écrits, de rappeler tous les travaux antérieurs : en résumant même dans une note (*) les idées théoriques professées depuis l'antiquité sur la formation de la terre par les philosophes, les poëtes et les savants, il a fait ressortir toute l'originalité des siennes, montré que ce qu'il introduisait dans la science, ce n'était pas seulement des faits nouveaux, mais la coordination de ces faits. A ce titre, il peut paraître utile de signaler en quelques mots les opinions des savants, même antérieurs à Werner, en laissant de côté les œuvres d'imagination pure.

Stenon (Nicolas Stenonis), *De solido intra solidum contento. Dissertationis Prodromus*, 1669, ou, en extrait, *Annales des sciences naturelles*, t. XXV, p. 337 (1832). Il distingue les formations volcaniques des formations marines ou lacustres; observe que les inégalités du sol sont en relation avec les plissements des couches; que s'il n'y avait pas eu de bouleversements, la terre serait formée de couches concentriques; il attribue les dérangements aux tremblements de terre et aux volcans; il se rend déjà compte que les filons ne sont que les remplissages de fractures anciennes, tandis que ses contemporains y voyaient les branches d'un arbre dont les racines d'or étaient au centre de la terre. Il distingue : « *Sex diversæ Etruriæ facies ex præsenti facie Etruriæ collectæ.* »

En 1740, *Lazaro Moro* distingue deux périodes d'élévation, la première après l'époque primitive (azoïque), la deuxième après les temps secondaires.

Füschel, auteur d'une carte géognostique avec coupes de la Thuringe, admet l'horizontalité primitive des dépôts sédimentaires et la nécessité d'élévations et chutes. Le premier il définit les *terrains* dans le sens actuel du mot :

(*) V. Notice sur *les Systèmes de montagnes*, p. 1318 et seq.

« Montes ab eâdem massâ, eodemque modo constructi », dans un ouvrage remarquable :

Historia terræ et maris ex historiâ Thuringiæ per montium descriptionum erecta, in Act. Acad. elect. Moguntinæ. Erfurth, vol II, p. 44-209, 1762.

Michell, dans le *Philosophical Magazine*, *On the causes and phenomena of earthquakes*, traite du soulèvement, du plissement des couches, et note le parallélisme des plissements des couches identiques dans la même contrée.

Saussure, enfin, dans ses *Voyages dans les Alpes*, mit en évidence le parallélisme des chaînes dites secondaires et de la chaîne principale. Vers la fin de son ouvrage, § 2302, il mentionne le parallélisme des crêtes et des couches comme un des faits les plus généraux que *Palassou*, dans son *Essai de la minéralogie des monts Pyrénées*, 1781, avait remarqués de son côté.

Malgré ses observations sur le poudingue de Valorsine, Saussure répugne à étendre les mêmes conclusions aux couches calcaires : « car, dit-il, les rochers étant produits par une cristallisation, on ne doit nullement s'étonner de voir leurs couches perpendiculaires à l'horizon ». (Voy. §§ 239 et 240.)

Dans les *Lettres à M. de Lamétherie* (*Journal de physique* 1791), Deluc admet des brisements plusieurs fois répétés du sol continental produits par de violentes commotions, système qu'il développa dans son *Traité* (1809) et dans son *Abrégé de géologie* (1815), en assignant comme causes de ces commotions des chutes dans l'intérieur des cavernes qu'il suppose constituer la plus grande partie de la terre.

Hutton et surtout *Playfair*, dans ses *Illustrations of the Huttonian theory of the Earth* (1802), développe le système du creusement des vallées par l'unique action des eaux, de la sédimentation (opposée à l'incrustation), comme cause de la production des couches, et du soulèvement du fond de la mer par la chaleur centrale.

Jusqu'à cette époque il n'y a pas de progrès sensibles sur la manière de voir de *Stenon*.

Léopold de Buch introduit des idées nouvelles. Après avoir constaté, contrairement aux opinions de Werner, que les granits, porphyres et basaltes, sont des roches éruptives ; que les volcans de la France centrale sont bien, comme *Dolomieu* l'avait annoncé, dans un pays granitique, et ne doivent pas leur existence à la combustion de couches de combustibles, il expose sa théorie des soulèvements proprement dite. L'apparition des chaînes de montagnes est due au soulèvement du sol par les vapeurs qui accompagnaient l'éruption des roches ignées, comme elles accompagnent encore l'émission des laves. (Voy. *Physikaliche Beschreibung der Kanarischen Inseln. Uber die Züsammen setzung der basaltischen Inseln*, dans Leonhard, 1821.) De Buch applique cette théorie aux Alpes, en même temps qu'il imagine le métamorphisme, c'est-à-dire la transformation en dolomie des couches calcaires, par les mêmes vapeurs. Enfin il trace en 1824 les limites de quatre *systèmes* dans l'Europe centrale ; ces *systèmes* étant l'ensemble des couches de même direction (*Leonhards Taschenbuch*). C'est probablement là le germe des théories d'Élie de Beaumont.

Bien que pendant longtemps Élie de Beaumont n'ait pas paru vouloir se prononcer entre les idées de *Deluc* (abaissement des couches dans des cavités souterraines) et celles de *de Buch*, la théorie de celui qu'il se plaisait à appeler son maître avait évidemment sa préférence. En 1850 (*) et en 1851 (**), lorsqu'il l'avait manifestement abandonnée pour lui substituer l'idée plus générale d'un ridement de l'écorce terrestre, il défendait encore le mot de « soulèvement ».

Le respect profond qu'il professait pour Saussure, pour

(*) *Comptes rendus*, t. XXXI, 7 octobre 1850.
(**) *Notice sur les systèmes de montagnes*, 1851.

de Buch, pour Cuvier, a réagi d'ailleurs sur ses opinions jusqu'à la fin de sa vie. Cuvier avait supposé une démarcation tranchée entre l'ère dite actuelle et les âges antérieurs, démarcation que Brongniart (*) avait accusée encore plus, en opposant l'ensemble de celle-ci, sous le nom de période saturnienne, à la période jovienne, ou actuelle; en accumulant dans la première tous les bouleversements, tandis que la seconde, marquée principalement par l'arrivée de l'homme sur la terre, jouissait d'une tranquillité à peine troublée par les phénomènes volcaniques, Cuvier niait même les mouvements séculaires du nord de l'Europe (**), bien qu'ils eussent été constatés de la manière la plus évidente par tous les savants qui avaient visité la Suède, et prétendait les rayer des causes actuelles. Plus éclairé, Élie de Beaumont reconnut l'existence de ces modifications lentes des niveaux des continents, et consacra même à leur étude une partie de ses *Leçons de géologie pratique*.

Il garda néanmoins l'idée qu'une grande catastrophe avait inauguré l'ère actuelle, et voyait avec Saussure la trace de la « grande débâcle » dans la dispersion des blocs erratiques tout autour des Alpes; ce n'est qu'avec la plus grande réserve qu'il parle du soulèvement des Andes comme pouvant être postérieur à l'existence de l'homme. Cette conviction, basée sur les négations de Cuvier, lui fit méconnaître la valeur des preuves aujourd'hui si complètes de la coexistence de l'homme et des races éteintes des grands pachydermes, et l'analogie des phénomènes erratiques des Alpes avec celui du Nord, pour lequel il acceptait une large intervention de la glace (***).

Il aurait pu cependant accepter les idées nouvelles sans

(*) *Discours sur les révolutions du globe.*

(**) *Tableau des terrains qui composent l'état du globe*, 1829.

(***) Indiquée déjà par Playfair, *op. cit.*, § 348, comme l'une des causes possibles du transport des blocs.

contradiction avec celles que j'ai rappelées plus haut, s'il n'avait préféré suivre l'opinion de ses illustres prédécesseurs, tant qu'elles n'étaient pas contraires à ses propres observations.

Il avait d'ailleurs été maintenu dans cette voie par les observations de Dufrénoy, qui n'avait vu aucun bloc erratique dans les Pyrénées, d'où il résultait que la dispersion des blocs était un phénomène purement alpin.

Ce n'est pas le lieu de rechercher ici quelle part revient aux divers géologues, et à Élie de Beaumont lui-même dans les erreurs qui ont pu être commises relativement à quelques systèmes de montagnes. Ces erreurs inévitables, puisque la détermination de l'âge d'un soulèvement suppose que l'on connaît exactement l'âge des couches soulevées, problème non encore complétement résolu, ne détruiront jamais l'ensemble de l'œuvre d'Élie de Beaumont.

LISTE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. ÉLIE DE BEAUMONT,

Inspecteur général des mines,

Dressée par M. A. GUYERDET, préparateur de géologie à l'École des Mines, attaché au Service de la Carte géologique détaillée de la France.

1822 — *Notice sur les mines de fer et les forges de Framont et de Rothau.* (Annales des mines, 1re sér., t. VII.)

1824 — *Notice sur les salines de Bex (Suisse).* (Annales des mines, 1re sér., t. IX.)

1824 — *Coup d'œil sur les mines.* (Extrait du Dictionnaire des sciences naturelles.) Paris, 1824.

1824-1825 — *Notice sur le gisement, l'exploitation et le traitement des minerais d'étain et de cuivre du Cornouailles,* par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Annales des mines. 1re sér., t. IX, X, XI.)

1825 — *Expériences pour condenser les vapeurs des usines à cuivre,* par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Annales des mines, 1re sér., t. XI.)

1825 — *Traitement du minerai de cuivre dans le Sud du pays de Galles,* par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Annales des mines, 1re sér., t. XI.)

1826 — *Sur les mines de plomb du Cumberland et du Derbyshire,* par MM. Élie de Beaumont, Brochant de Villiers et Dufrénoy. (Annales des mines, 1re sér., t. XII.)

1826 — *Préparation mécanique des minerais de plomb dans le Derbyshire et le Cumberland,* par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Annales des mines, 1re sér., t. XII.)

1827 — *Note sur la constitution géognostique des environs des Martigues (Bouches-du-Rhône).* (Extrait des mémoires de la société Linnéenne de Normandie.) Caen, 1827.

1827 — *Note sur la constitution géologique des îles Baléares.* (Extrait des Annales des sciences naturelles.) Paris, 1827.

1827 — *Formation de la fonte et du fer en Angleterre ou aperçu*

sur les différents dépôts houillers de ce pays. (Annales des mines, 2e sér., t. I et II.)

1827-1828 — *Observations géologiques sur les différentes formations qui, dans le système des Vosges, séparent la formation houillère de celle du lias.* (Annales des mines, 2e sér., t. I et IV.)

1828 — *Notice sur un gisement de végétaux fossiles et bélemnites situé à Petit-Cœur, près Moutiers en Tarentaise.* (Extrait des Annales des sciences naturelles.) Paris, 1828.

1828 — *Note sur un gisement de végétaux fossiles et de graphite situé au col du Chardonet (Hautes-Alpes).* (Extrait des Annales des sciences naturelles.) Paris, 1828.

1829 — *Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans.* (Extrait des mémoires de la société d'histoire naturelle de Paris.)

1829 — *Note sur l'uniformité qui règne dans la constitution de la ceinture jurassique du bassin géologique qui comprend Londres et Paris.* (Extrait des Annales des sciences naturelles.) Paris, 1829.

1829-1830 — *Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe.* (Extrait des Annales des sciences naturelles.) Paris, 1830.

1830 — *Métallurgie de l'Angleterre*, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Annales des mines, 2e sér., t. VII.)

1830-1834-1836-1838 — *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. Paris, 1830-1838. 4 vol. in-8.

1830-1831 — *Observations sur les montagnes serpentineuses de la Ligurie.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. I.)

1830-1831 — *Observations sur l'absence du dépôt tertiaire dans certains bassins.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. I.)

1830-1831 — *Fixation des étages géologiques de diverses localités.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. I.)

1830-1831 — *Observations sur la caverne de Poudees.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. I.)

1830-1831 — *Observations sur le grès de Fontainebleau.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. I.)

1831-1832 — *Considérations sur les cratères de soulèvement de l'Auvergne.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. II.)

1831-1832 — *Découverte de dolomie près Grignon.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. II.)

1831-1832 — *Observations sur l'étendue des terrains tertiaires inférieurs dans le nord de la France et sur les lignites qui s'y trouvent.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re série, t. II.)

1832 — *Fragments géologiques tirés de Stenon, de Kazwini, de Strabon et du Bonn-Dehesch.* (Extrait des Annales des sciences naturelles.) Paris, 1832.

1832 — *Zweiter geologischer Brief des* Hrn. Élie de Beaumont an Hrn. Alexander von Humboldt, *uber das relative alter der Gebirgszüge.* (Annalen der Physik und Chemie von J. C. Poggendorff.) Leipzig, 1832.

1833 — *Mémoire sur les groupes du Cantal et du mont Dore et sur les soulèvements auxquels ces montagnes doivent leur relief actuel,* par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Annales des mines, 3e sér., t. III.)

1833-1834 — *Observations sur les divers âges de formation des porphyres de Lugano (Italie).* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. V.)

1833-1834 — *Discussion avec M. Deshayes sur la classification d'un terrain du département des Hautes-Alpes.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. V.)

1833-1834 — *Coupe des assises supérieures de la craie à Bougival et à Marly.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. V.)

1834 — *Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans (additions.)* (Annales des mines, 3e série, t. V.)

1834-1835 — *Observations sur le classement du calcaire de Château-Landon.* (Bulletin de la société géologique de France, 1e sér., t. VI.)

1834-1835 — *Détails géologiques sur Château-Landon.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VI.)

1834-1835 — *Opinion sur l'âge des serpentines de Cadibona et de celles de Gênes.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VI.)

1834-1835 — *Notice sur une carrière de Meudon où se voit le contact de la craie et de l'argile plastique.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VI.)

1835 — *Recherches sur la structure et l'origine du mont Etna.*— (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. I.)

1835-1836 — *Classification du schiste des Alpes.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VII.)

1835-1836 — *Reconnaissance de deux directions de soulèvement dans les Alpes.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VII).

1835-1836 — *Observations sur le calcaire intermédiaire à la craie et à l'argile plastique dont on veut faire le commencement de la période tertiaire.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VII.)

1836 — *Note sur quelques essais tentés en Allemagne pour améliorer le fer obtenu par l'affinage et certaines espèces de fontes.* (Annales des mines, 3e sér., t. X.)

1836 — *Rapport sur les recherches géologiques exécutées dans quelques parties de l'Asie Mineure,* par M. C. Texier. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. II.)

1836 — *Sur la relation qui existe entre l'épaisseur que les glaces perpétuelles peuvent acquérir dans un lieu donné et l'accroissement de température qu'on observe dans les lieux profonds.* (Journal l'*Institut* du 15 juin 1836.)

1836-1837 — *Idées théoriques basées sur le calcul pour expliquer la formation par épigénie des anhydrites, des gypses et des dolomies.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. VIII.)

1837 — *Remarques sur une note de M. Constant Prévost relative à une communication de M. L. Pilla, tendant à prouver que le cône du Vésuve a été primitivement formé par soulèvement.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. IV.)

1837 — *Remarques comparatives sur les cendres de l'Etna et sur celles du volcan de la Guadeloupe.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. IV.)

1837 — *Note sur une chute de grêlons d'une forme particulière.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. IV.)

1837 — *Observations sur une lettre de M. Constant Prévost concernant l'âge relatif des calcaires de Château-Landon et des grès de Fontainebleau.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. IV.)

1837 — *Note sur la composition des cendres du volcan de Casiguina.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. V.)

1837 — *Rapport sur un mémoire de M. Paillette concernant des observations géologiques relatives à la partie occidentale de l'ancienne province de Bretagne.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. V.)

1837 à 1839 — *Voyage métallurgique en Angleterre*, par MM. Élie de Beaumont, Dufrénoy, Coste et Perdonnet. (Paris, 1837-1839, 2 vol. et atlas.)

1838 — *Remarques à l'occasion d'une réclamation de M. Rivière, concernant une lettre de M. Pouillon-Boblaye, relative à la modification qu'ont subie, par suite de l'apparition de roches ignées, certains terrains de sédiment.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VI.)

1838 — *Instructions pour la commission chargée de l'exploration scientifique de l'Algérie (géologie, minéralogie).* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VI.)

1838 — *Instructions pour l'expédition scientifique qui se rend dans le nord de l'Europe (minéralogie).* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VI.)

1838 — *Remarques à l'occasion d'un mémoire de M. de Blainville relatif aux débris de didelphes provenant de Stonesfield.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VI.)

1838 — *Remarques à l'occasion d'une lettre de M. Gay et notamment d'un passage relatif à la question de l'existence du terrain jurassique dans l'Amérique australe.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VI.)

1838 — *Note sur l'état actuel du puits artésien à l'abattoir de Grenelle à Paris.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VII.)

1838 — *Rapport sur un mémoire de M. Pouillon-Boblaye relatif à la géologie des provinces de Bône et de Constantine.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VII.)

1838 — *Note sur le terrain qui contient le tripoli de Bilin en Bohême.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. VII.)

1839 — *Note sur l'orage qui a traversé, le* 10 *octobre* 1839, *le dé-*

partement du Loiret. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. IX.)

1839-1840 — *M. Élie de Beaumont rapporte au Fullers-Earth le calcaire blanc jaunâtre marneux de M. de Bonnard.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XI.)

1839-1840 — *M. Élie de Beaumont classe le terrain anthraxifère des Alpes dans le lias.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XI.)

1840 — *Rapport sur plusieurs mémoires de M. Rozet, relatifs aux montagnes qui séparent la Saône et la Loire.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XI.)

1840 — *Rapports sur les résultats relatifs à la géologie, obtenus durant le voyage de circumnavigation de* la Vénus *sous le commandement de M. Dupetit-Thouars.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XI.)

1840-1841 — *Application des observations géodésiques et astronomiques et de celles du pendule pour prouver la propagation des phénomènes de soulèvement dans les Alpes.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XII.)

1840-1841 — *M. Élie de Beaumont rattache le soulèvement des roches pyrogènes du Limousin au système du Morvan.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XII.)

1840-1841 — *Opinion de M. Élie de Beaumont sur l'âge différent des dépôts de cailloux roulés des deux rives du Loing.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XII.)

1840-1841 — *Les calculs atomiques sur les dolomies.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XII.)

1840-1841 — *Explications sur le contournement des couches gypseuses.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XII.)

1840-1841 — *Opinion de M. Élie de Beaumont sur les terrains tertiaires de Maine-et-Loire.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XII.)

1840-1841 — *Opinion de M. Élie de Beaumont sur le mont Faudou.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér. t. XII.)

1841 — *Carte géologique de la France, exécutée sous la direction de M. Brochant de Villiers, inspecteur général des mines*, par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, ingénieurs des mines. (Imprimerie royale, 1841.) En 6 feuilles.

1841 — *Tableau d'assemblage de la carte géologique de France, en chromo-lithographie*. (1 feuille.)

1841 — *Explication de la carte géologique de la France*, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Imprimerie royale, Paris, 1841, t. I.)

1841 — *Remarques à l'occasion d'observations faites par M. Siau sur la profondeur à laquelle cesse de se faire sentir le mouvement des vagues*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XII.)

1841 — *Rapport sur une communication de M. Le Guillou, concernant les observations de géologie et les collections de roches qu'il a faites durant le voyage de* la Zélie. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XII.)

1841 — *MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy présentent à l'Académie un exemplaire de la carte géologique de la France*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XIII.)

1841 — *Rapport sur les travaux exécutés par M. François, pour l'aménagement des eaux thermales de Bagnères-de-Luchon*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XIII.)

1841 — *Extrait d'une lettre de M. J. Newbold sur l'Etna*. (Annales des mines, 3[e] sér., t. XIX.)

1841 — *Extrait d'une lettre de M. le baron de Meyendorf sur un essai de carte géologique de Russie d'Europe*. (Annales des mines, 3[e] sér., t. XX.)

1841-1842 — *Idées de M. Élie de Beaumont sur la vapeur d'eau*. (Bulletin de la société géologique de France, t. XIII.)

1841-1842 — *Point de départ de M. Élie de Beaumont pour la théorie des soulèvements*. (Bulletin de la société géologique de France, 1[re] sér., t. XIII.)

1841-1842 — *Calculs sur la densité des couches du globe*. (Bulletin de la société géologique de France, 1[re] sér., t. XIII.)

1842 — *Description du terrain houiller de la France*, par M. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Imprimerie royale, Paris, 1842. 1 vol. in-4.)

1842 — *Remarques sur deux points de la théorie des glaciers et celle des cours d'eau.* (Extrait des Annales des sciences géologiques, publiées par M. Rivière, Paris, 1842.)

1842 — *Rapport sur un mémoire de M. Durocher ayant pour titre : Observations sur le phénomène diluvien dans le nord de l'Europe.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XIV.)

1842 — *Additions à des observations de M. Desor sur les surfaces polies et moutonnées de quelques vallées des Hautes-Alpes.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XIV.)

1842 — *Rapport sur un mémoire de M. Itier* intitulé : *Notice géologique sur la formation néocomienne dans le département de l'Ain.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XV.)

1842 — *Rapport sur un mémoire de M. Bravais, concernant les lignes d'ancien niveau de la mer sur les côtes du Finmark.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XV.)

1842-1843 — *Opinion de M. Élie de Beaumont sur la croissance des glaciers par intussusception.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XIV.)

1842-1843 — *Travail sur un gisement de végétaux fossiles des Hautes-Alpes.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XIV.)

1842-1843 — *Opinion de M. Élie de Beaumont sur le double mouvement de la Scandinavie.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XIV.)

1842-1843 — *Mode d'explication de la différence de niveau entre les terrains tertiaires de la Limagne et ceux de Paris.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XIV.)

1842-1843 — *Liste des substances élémentaires des météorites.* (Bulletin de la société géologique de France, 1re sér., t. XIV.)

1843 — *Rapport sur un mémoire de M. de Castelnau, relatif au système silurien de l'Amérique septentrionale.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. XVI.)

1843 — *Comparaison entre les masses montagneuses annulaires de la Terre et de la Lune.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XVI.)

1843 — *Rapport sur un mémoire de M. Buteux* intitulé : *Esquisse*

géologique du département de la Somme. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XVII.)

1843 — *Rapport sur un mémoire de M. Alcide d'Orbigny* intitulé : *Considérations générales sur la géologie de l'Amérique méridionale.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XVII.)

1843-1844 — *Leçons de géologie pratique, professées au Collège de France (année scolaire 1843-1844).* Paris, 1845, t. I.

1844 — *Note sur le rapport qui existe entre le refroidissement progressif de la masse du globe terrestre et celui de sa surface.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XIX.)

1844 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Desportes sur l'impression lithographique à plusieurs couleurs.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XIX.)

1845 — *Observations sur les roches à surface usée et striée provenant de la vallée de Saint-Amarin.* (Bulletin de la société géologique de France, 2e sér., t. II.)

1845 — *Observations sur un galet de quartz roulé, trouvé par M. Zippe dans un granite.* (Bulletin de la société géologique de France, 2e sér., t. II.)

1845 — *Présentation avec observations du premier volume de ses Leçons de géologie pratique professées au Collège de France.* (Bulletin de la société géologique de France, 2e sér., t. III.)

1845 — *Remarques à l'occasion d'un travail sur la statistique et l'histoire du Mexique présenté par l'abbé de L'Hoste.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XX.)

1845 — *Rapport sur un mémoire de M. Tchihatcheff relatif à la constitution géologique de l'Altaï.* (Extrait des comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XX.)

1845 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Castel sur les causes des phénomènes physiques que l'on observe quand on s'élève à une certaine hauteur dans les montagnes.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XX.)

1845 — *Hommage des leçons de géologie pratique.* (Extrait des Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXI.)

1846 — *Rapport sur les observations auxquelles M. Ch. Deville, ancien élève de l'École des mines, s'est livré durant son voyage aux Antilles, à Ténériffe et aux îles du Cap Vert.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXII.)

1847 — *Exposition de la classification adoptée pour la série des terrains stratifiés qui s'étend du grès vert au calcaire grossier.* (Bulletin de la société géologique de France, 2[e] sér., t. IV.)

1847 — *Note sur les systèmes de montagnes les plus anciens de l'Europe.* (Bulletin de la société géologique de France, 2[e] sér., t. IV.)

1847 — *Note sur les émanations volcaniques et métallifères.* (Bulletin de la société géologique de France, 2[e] sér., t. IV.)

1847 — *Sur une des causes présumables des phénomènes erratiques.* (Bulletin de la société géologique de France, 2[e] sér., t. IV.)

1847 — *Rapport sur le puits artésien commencé par M. Mulot, dans l'enceinte de la ville de Calais.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXIV.)

1847 — *Instructions pour un nouveau voyage de M. Rochet d'Héricourt en Abyssinie.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXV.)

1848 — *Explication de la carte géologique de la France*, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy. (Imprimerie nationale. Paris, 1848, t. II.)

1848 — *Extrait de rapports sur la soufrière de la Guadeloupe*, par MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, Joly et Mercier. (Annales des mines, 4[e] sér., t. XIV.)

1848 — *Rapport sur un travail de M. Henri Fournel*, intitulé : *Richesse minérale de l'Algérie.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXVI.)

1848 — *Instructions demandées par M. A. L. Duplessis pour son voyage dans le Texas.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXVII.)

1848 — *Instructions demandées par M. Desmadryl pour un voyage dans la partie occidentale des Cordillères de l'Amérique méridionale.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXVII.)

1849 — *Leçons de géologie pratique professées au Collége de France*, par M. Élie de Beaumont, Paris, 1849, t. II.

1849 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. de Sénarmont*, intitulée: *Expériences sur la formation artificielle de quelques minéraux par voie humide.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXVIII.)

1849 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Gervais sur une nouvelle espèce de singe fossile.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXVIII.)

1849 — *Instructions demandées par M. le docteur Petit pour un voyage au Chili.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXIX.)

1849 — *Instructions destinées à M. le colonel Ducouret pour un voyage en Afrique.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXIX.)

1850 — *Note sur la corrélation des directions des différents systèmes de montagnes.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXI.)

1850 — *Extrait d'une lettre adressée à M. Constant Prévost sur les systèmes de montagnes.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXI.)

1851 — *Rapport sur les recherches de M. le docteur Grange, relatives aux causes du crétinisme et du goître et aux moyens d'en préserver les populations.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris). t. XXXII.)

1851 — *Rapport sur une note de M. Nory-Dupar concernant la découverte d'une carrière de marbre dans le département de l'Orne.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXII.)

1851 — *Note concernant les données qui fixent la position du réseau pentagonal sur la surface du globe.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXIII.)

1851 — *Rapport sur les collections faites dans la Nouvelle-Grenade*, par M. B. Léwy. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXIII.)

1852 — *Notice sur les systèmes de montagnes.* (Extrait du Dictionnaire universel d'histoire naturelle dirigée par M. d'Orbigny.) Paris, 3 vol. in-12.

1852 — *Instructions pour une expédition scientifique qui doit se faire dans l'Amérique du Sud, sous la direction de M. E.*

Deville. (Extrait des Comptes rendns de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXV.)

1854 — *Sur un effet de la lune rousse*. (Extrait de l'Annuaire de la société météorologique de France.) Paris, 1854.

1854 — *Traduction d'une note du journal anglais l'*Athenæum *sur la géologie de l'Inde, d'après M. Greenough*. (Annales des mines, 5ᵉ sér., t. VI.)

1854 — *Rapport sur les travaux de M. A. Perrey, relatifs aux tremblements de terre*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XXXVIII.)

1854 — *Note sur l'origine des dolomies*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t, XXXIX.)

1855 — *Extrait d'un mémoire* intitulé : *Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans*. (Bulletin de la société géologique de France, 2ᵉ sér. t. XII.)

1855 — *Remarques sur une carte des contours approximatifs de la région anthraxifère des Alpes occidentales présentée à la société*. (Bulletin do la société géologique de France, 2ᵉ sér., t. XII.)

1855 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Lartet sur un tibia fossile trouvé à Meudon*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. XL.)

1855 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Bravais sur le degré de précision avec lequel l'œil peut apprécier le parallélisme de deux droites*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XL.)

1855 — *Remarques sur l'apparition des premières feuilles de quelques marronniers*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XL.)

1856 — *Étude sur l'utilité agricole et sur les gisements géologiques du phosphore*. (Extrait des mémoires de la société impériale et centrale d'agriculture.) Paris 1856.

1856 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Alphand sur le forage artésien pratiqué à Passy*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLII.)

1856 — *Communication relative aux marronniers précoces des Tuileries*. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLII).

1856 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Leverrier sur la détermination des longitudes terrestres*.

(Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIII.)

1856 — *Remarques à l'occasion d'une lettre de M. Pomel sur la structure géologique de l'Algérie.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIII.)

1856 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Isidore Pierre, sur les orages observés à Caen.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIII).

1856 — *Remarques à l'occasion d'un mémoire de M. Becquerel sur l'électricité de l'air et de la terre.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIII.)

1857 — *Éloge historique de Coriolis*, lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris du 3 février 1857.

1857 — *Renseignements à l'occasion d'un mémoire de M. Bobierre sur les procédés par lesquels on cherche à donner aux phosphates naturels les propriétés qui en permettent l'emploi en agriculture.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIV.)

1857 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Babinet concernant la figure de la Terre.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLV.)

1857 — *Remarques à l'occasion de la lettre de M. Sismonda sur les gisements de fossiles végétaux et animaux du col des Encombres en Maurienne.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLV.)

1858 — *M. Élie de Beaumont rappelle à l'occasion d'une lettre de M. de Verneuil sur les changements qui se sont opérés depuis 1834 dans le plateau supérieur du Vésuve, d'autres changements d'une époque antérieure.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLVI.)

1858 — *Remarques à l'occasion de la lettre de M. Leymerie sur quelques points de la géologie des régions pyrénéennes.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLVI.)

1858 — *Remarques à l'occasion d'une lettre de M. Sorby sur le mode de consolidation du granite et de plusieurs autre roches.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLVI.)

1858 — *Rapport sur le concours pour le prix Bordin, question du métamorphisme des roches.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLVI.)

1859 — *Société de géographie. — Assemblée générale du 16 décembre 1859. — Discours d'ouverture.* (Extrait du Bulletin de la société de géographie de Paris.)

1859 — *Sur un pétrosilex glanduleux de la ferme du Grand Houx, sur la pente des Coëvrons (Sarthe).* (Bulletin de la société géologique de France, 2e sér., t. XVI.)

1859 — *Remarques à l'occasion d'un mémoire de M. P. Gervais sur un saurien des schistes de Lodève.* (Extrait de Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris t. XLVIII.)

1859 — *Éloge historique de C. F. Beautemps-Beaupré,* lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris, du 14 mars 1859.

1859 — *Remarques à l'occasion d'un opuscule de M. G. de Mortillet sur la constitution du terrain que doit traverser le tunnel voisin du mont Cenis.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLVIII.)

1859 — *Remarques au sujet de la légende de la carte géologique du Dauphiné par M. Lory.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIX.)

1859 — *Remarques à l'occasion d'une note de M. Beauvallet sur la présence du vanadium dans l'argile de Gentilly.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. XLIX.)

1859 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Boucher de Perthes sur les silex taillés des bancs diluviens de la Somme.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t, XLIX.)

1860 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Scipion Gras sur un cas d'opposition entre l'ordre stratigraphique des roches et leurs caractères paléontologiques.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. L.)

1861 — *Carte géologique détaillée de la Haute-Marne,* par MM. Élie de Beaumont et de Chancourtois, 4 feuilles coloriées, au $\frac{1}{80\cdot000}$, par report sur pierre de la carte de l'état-major. (Imprimerie impériale, 1857-1860.)

1861 — *Éloge historique de A. M. Legendre,* lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris du 25 mars 1861.

1861 — *Remarques à l'occasion d'une note de M. S. Gras sur la séparation géologique des marnes à ancyloceras du terrain néocomien dans les Alpes.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LIII.)

1862 — *Remarques sur les accidents stratigraphiques du département de la Haute-Marne.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LV).

1862 — *Éloge historique d'Oerstedt,* lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris du 29 décembre 1862.

1863 — *Présentation par MM. Élie de Beaumont et de Chancourtois de la carte géologique détaillée de la Haute-Marne,* exécutée par feu M. Duhamel. (Bulletin de la société géologique de France, 2e sér., t. XX.)

1863 — *Remarques à l'occasion d'une note de M. Triger sur les profils des chemins de fer de l'Ouest transformés en coupes géologiques.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVI.)

1863 — *Remarques à l'occasion d'une note de M. Faye sur les instruments géodésiques et sur la densité moyenne de la terre.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVI.)

1863 — *Remarques à l'occasion des notes de M. Milne-Edwards et de M. Quatrefages sur les haches en silex et la mâchoire humaine trouvées à Moulin-Quignon.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVI.)

1863 — *Remarques à l'occasion d'une nouvelle édition des lettres sur les révolutions du globe,* par feu A. Bertrand. (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVII.)

1863 — *Remarques à l'occasion d'une note de MM. Degousée et Laurent sur les oscillations du sol manifestées par des perturbations dans le régime des puits artésiens.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVII.)

1863 — *Tableau des données numériques qui fixent les 159 cercles du réseau pentagonal.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVII.)

1863 — *Remarques sur une lettre de M. Boucher de Perthes relative à la mâchoire humaine de Moulin-Quignon.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVII.)

1864 — *Tableau des données numériques qui fixent les 362 points principaux du réseau pentagonal.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVIII.)

1864 — *Remarques à l'occasion des communications de MM. Cazalis de Fondouce, Garrigou et L. Martin sur les cavernes de l'âge de pierre.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des scienees de Paris, t. LVIII.)

1864 — *Remarques à l'occasion d'une note de M. Gairaud sur les explosions du grisou.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LVIII.)

1864 - *Remarques à l'occasion d'une note de M. Quatrefages relative aux ossements humains trouvés à Moulin-Quignon.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LIX.)

1865 — *Éloge historique d'Aug. Bravais*, lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris du 6 février 1865.

1865 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Fouqué relative à l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LX.)

1865 — *Remarques à l'occasion d'un mémoire de M. Lartet sur la formation du bassin de la mer Morte.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LX.)

1865 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Leverrier, concernant la météorologie.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LX.)

1865 — *Remarques à l'occasion d'une note de M. de Vibraye relative aux silex de Pressigny-le-Grand.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXI.)

1866 — *Tableau des données numériques qui fixent sur la surface de la France et des contrées limitrophes les points où se coupent mutuellement 29 cercles du réseau pentagonal.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXII.)

1866 — *Hommage d'une notice qu'il vient de publier sur les travaux scientifiques de S. A. le prince Charles-Lucien Bonaparte.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXII.)

1866 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Ledoulx sur les phénomènes volcaniques qui se sont produits dans la rade de l'île de Santorin.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXII.)

1866 — *Explication du tableau des données numériques qui fixent sur la surface de la France et des contrées limitrophes les points où se coupent mutuellement 29 cercles du réseau pentagonal.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIII.)

1866 — *Remarques à l'occasion d'un passage de Clouet cité par M. Chevreul où il parle des phosphates de chaux de l'Espagne.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIII.)

1866 — *Tableau d'assemblage des six feuilles de la carte géologique de la France, avec les cercles du réseau pentagonal,* par M. Élie de Beaumont. (Imprimerie impériale, chromolithographie.) 1 feuille.

1867 — *Note sur les poids des différents cercles du réseau pentagonal* par M. Élie de Beaumont. (Extrait des Annales des mines, 6ᵉ sér., t. XI.)

1867 — *Remarques à l'occasion d'une communication faite par M. Pissis sur la carte géologique et sur les volcans du Chili.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIV.)

1867 — *Observations relatives à une communication de M. Wolf sur le cratère de Linné.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIV.)

1867 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Agassiz* intitulée : *Observations géologiques faites dans la vallée de l'Amazone.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIV.)

1867 — *Remarques à l'occasion d'une communication de M. Paravey sur la détermination de l'âge des haches en silex d'après les anciens livres chinois.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIV.)

1867 — *Remarques au sujet d'une communication de M. Husson sur les alluvions de Toul et de la Seine.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXV.)

1868 — *Observations faites à l'occasion d'une note de MM. Martins et Collomb sur l'ancien glacier de la vallée d'Argelez.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVI.)

1868 — *Observations relatives à une communication de M. Fournet sur les blocs erratiques.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVI.)

1868 — *Remarques relatives à une communication de M. Raillard sur la chaleur centrale de la terre.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVI.)

1868 — *Indication donnée à l'occasion d'une communication de M. H. Sainte-Claire-Deville sur l'abondance d'une substance huileuse dans la marne schisteuse qui supporte à Vassy la couche exploitée comme ciment romain.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVI.)

1868 — *Observations relatives à une communication de M. Ramon de la Sagra sur une éruption volcanique dans l'État de Nicaragua.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVI.)

1868 — *Remarques sur une communication de M. Laussedat, relative à une mâchoire de rhinocéros trouvée à Billy (Allier).* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVI.)

1868 *Observations relatives à une communication de M. Grad sur la constitution et l'origine des lacs des Vosges.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVII.)

1869 — *Éloge historique de Louis Puissant*, lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris du 14 juin 1869.

1869 — *Observations relatives à une communication de M. E. Dumas sur un fragment de verre présentant une division radiée.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVIII.)

1869 — *Observations relatives à la publication d'un travail de M. de Tchihatcheff* intitulé : *Géologie de l'Asie Mineure.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVIII.)

1869 — *Observations relatives à une communication de M. Angelot sur l'atmosphère solaire.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVIII.)

1869 — *Observations relatives à une note de M. Chasles sur Galilée.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVIII.)

1869 — *Observations sur une communication de M. Carbone relative aux manuscrits de Galilée.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXVIII.)

1869 — *Observations relatives à une communication de M. Poirée sur la différence de niveau entre la mer Rouge et la Méditerranée.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIX.)

1869 — *Observations relatives à une communication de M. Peligot sur la répartition de la potasse et de la soude dans les végétaux.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIX.)

1869 — *Observations relatives à une communication de M. Scheurer-Kestner sur la composition chimique des ossements fossiles.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXIX.)

1869 — *Rapport sur les progrès de la stratigraphie.* (Publication faite sous les auspices du ministère de l'instruction publique, imprimerie impériale, 1869, 1 vol. in-8°.)

1869 — *Le réseau pentagonal.* (Extrait de la Revue des cours scientifiques, mai 1869.)

1870 — *Remarques à l'occasion d'une communication de MM. Roujou et Julien concernant des stries observées sur des blocs de grès de Fontainebleau.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXX.)

1870 — *Observations relatives à une communication de MM. H. Sainte-Claire Deville et J. Desnoyers sur l'analyse et les applications de la gaize.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXX.)

1870 — *Observations relatives à une communication de MM. Leymerie sur l'état fragmentaire des hautes cimes des Pyrénées.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXX.)

1870 — *Note sur les roches qu'on a rencontrées dans le creusement du tunnel des Alpes occidentales entre Modane et Bardonnèche.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXI.)

1871 — *Observations à propos de la note de M. Hennessy sur l'épaisseur probable de la croûte solide du globe.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXII.)

1871 — *Communication relative à l'ouverture du tunnel des Alpes occidentales entre Modane et Bardonnèche.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXII.)

1871 — *Sur les gelées blanches du mois de mai.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXII.)

1871 — *Note sur les roches qu'on a rencontrées dans le creusement du tunnel des Alpes occidentales entre Modane et Bordonnèche (suite).* Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXIII.)

1872 — *Éloge historique du baron J. Plana*, lu à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris du 25 novembre 1872.

1873 — *Remarques à propos d'une note de M. Palmieri sur les idées nouvelles de M. Ch. Sainte-Claire-Deville dans la théorie des phénomènes volcaniques.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXV.)

1873 — *Observations relatives à une communication de M. Germain concernant la pluie du 8 juin, jour de Saint-Médard.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXVI.)

1873 — *Note sur la présentation faite par le ministre des travaux publics des feuilles de la carte géologique détaillée à l'Académie des sciences.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXVII.)

1874 — *Rapport sur les travaux géodésiques relatifs à la nouvelle détermination de la méridienne de France.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXVIII.)

1874 — *Observations relatives à la destruction du phylloxera. — Proposition d'employer la neige.* (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. LXXIX.)

ADDITION.

1830 — Sur la coïncidence qui paraît avoir existé entre les redressements des couches de certains systèmes de montagnes et les changements soudains qui ont établi des lignes de démarcation entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment. (Cours élémentaire de géognosie fait au dépôt général de la guerre, par M. Rozet. — Paris, 1830, note V.)

DESCRIPTION ET PROJET

D'UN

ATELIER DE LAVAGE DE MINERAI DE FER

(BOCARD AVEC PATOUILLET)

Par M. SALZARD, garde-mines, directeur des mines et des hauts fourneaux de la Société d'Eurville (Haute-Marne).

Le bocard, dont nous donnons la description, les dessins et le devis, est destiné à préparer les minerais de fer, dits géodiques, de la partie inférieure du terrain néocomien de l'arrondissement de Wassy (Haute-Marne) (*). Ces minerais sont tantôt compactes et terreux, d'autres fois, et c'est le plus souvent, ils sont en plaquettes cloisonnées formant des géodes remplies de sable et d'argile; parfois les géodes sont ovoïdes et formées de couches concentriques renfermant aussi un noyau de terre argilo-sableuse.

La dureté de ces minerais est très-variable, et le poids du mètre cube brut est en moyenne de 1.350 kilog.; au lavage, au moyen du bocard à pilons et du patouillet, ils rendent 45 p. 100 en volume et le mètre cube ainsi préparé pèse généralement 1.550 kilog. Au haut fourneau, ces minerais lavés rendent en moyenne 45 p. 100 de fonte, tandis que bruts ils ne donneraient que 22,56 p. 100.

Pour la préparation de ces minerais (bocardage et lavage), de nombreuses expériences nous ont démontré que l'on emploie généralement 16 litres d'eau par seconde; mais nous compterons ici sur 20 litres, soit 72 mètres cubes par heure. Cet atelier étant destiné à produire en marche ordinaire de 24 à 25 mètres cubes par dix heures de travail effectif, soit $0^{m3},300$ par heure et par pilon, on emploiera $28^{m3},80$ d'eau par mètre cube de minerai propre à la fusion, ou un volume d'eau 24 fois plus grand que celui des matières terreuses à entraîner; c'est à très-peu près ce que la pratique donne dans l'arrondissement de Wassy.

La production moyenne annuelle de cet atelier devra être de

(*) Ce travail m'a été demandé en 1871 par la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État à Vienne, et je le lui ai adressé le 10 novembre de la même année.

5.000 mètres cubes de minerai propre à la fusion, ce qui suppose une activité de 200 jours de dix heures. Généralement dans l'arrondissement de Wassy et sur la Marne principalement, le lavage des minerais n'a lieu que pendant les quatre mois d'hiver : novembre, décembre, janvier et février, afin de ne pas faire usage des bassins d'épuration. L'atelier fonctionne alors nuit et jour en jetant les eaux sales à la rivière, et le reste du temps on épure les eaux si l'on désire marcher ; pour le cas où l'on devrait toujours le faire, nous donnerons plus loin les renseignements nécessaires sur la construction des bassins d'épuration.

Le plus souvent, dans la Haute-Marne, un bocard à minerai de fer se compose :

1° D'une prise d'eau ;
2° D'un moteur pour mouvoir les divers artifices de l'usine ;
3° D'une pile pour broyer le minerai ;
4° D'une huche de patouillet pour laver ce minerai ainsi broyé ;
5° Et d'une drague à la suite de cette huche pour le remonter.

Moteur. — Ici le moteur que nous proposons est une machine à vapeur de la force d'environ 15 chevaux (locomobile sur roues), et ses conditions principales peuvent être les suivantes :

Boîte à feu rectangulaire...	L=0m,85 ; l=1m,00 ; h=1m,50	Capacité, 1m³,434
Foyer intérieur rectangulaire	L=0m,67 ; l=0m,84 ; h=1m,00	Timbre. . 6 kil.
Corps principal cylindrique.	L=2m,52 ; D=0m,80 ;	Surface de chauffe : 21 mèt. carrés.
28 tubes directs en cuivre. .	L=2m,60 ; D=0m,08 ;	

Cette chaudière, qui est munie de tous ses appareils de sûreté, porte un bâti en fonte recevant la machine proprement dite ; l'arbre coudé reçoit d'un bout une poulie motrice de 1m,344 de diamètre à 6 bras cintrés et 0m,20 de largeur de jante ; l'autre bout de l'arbre porte un volant de 2 mètres de diamètre aussi à 6 bras. Cette locomobile pèse 7.500 kilog. environ, y compris la cheminée de 5 mètres de hauteur ; elle est posée sur 4 pièces de bois de chêne ayant chacune 1 mètre de longueur sur 16/20, entaillées suivant la circonférence des roues. La poulie motrice devrait faire de 90 à 95 tours par minute, mais nous avons calculé les vitesses des diverses parties de l'atelier pour 80 tours seulement.

La poulie motrice donne le mouvement, au moyen d'une courroie double en cuir de 11m,50 de longueur et 0m,20 de largeur, à

une autre poulie en fonte (*a*) de 2^{m},80 de diamètre à 8 bras cintrés et 0^{m},20 de largeur de jante ; elle pèse 550 kilog. et elle est montée à clef sur un arbre en fer tourné de 1^{m},32 de longueur, 120 millimètres de diamètre pesant 115 kilog. Cet arbre tourne dans deux paliers en fonte à chapeaux pesant 80 kilog. fixés, chacun au moyen de deux boulons à écrous et clavettes, sur deux assises en pierre de taille de 0^{m},80 de longueur, 0^{m},60 de largeur et 0^{m},50 de hauteur engagée de 0^{m},42 dans le massif en maçonnerie formant le sol. Sur ce même arbre se trouvent en outre : 1° une poulie en fonte (*b*) semblable à la précédente, mais ayant seulement 1^{m},90 de diamètre et pesant 400 kilog. ; 2° un petit pignon en fonte (*c*) de 0^{m},45 de diamètre, à 20 dents, pesant environ 70 kilog. (Voir les *fig.* 1 des Pl. VI et VII.)

Ce petit pignon de 0^{m},45, qui est tourné et monté à clef, se conjugue à un engrenage en fonte (*d*) de 2^{m},880 de diamètre à 6 bras nervés et à 128 dents, pesant environ 1.200 kilog. ; la couronne a 120 millimètres de largeur, le moyeu 0^{m},32 de diamètre et 0^{m},220 de longueur ; il est monté à clef sur l'extrémité de l'arbre du patouillet qui a là 200 millimètres de diamètre.

Cet engrenage se conjugue à un autre (*e*), de 0^{m},720 de diamètre et de 32 dents, à 4 bras nervés, pesant environ 130 kilog., monté à clef sur le bout de l'arbre du cylindre de camage ; la couronne a aussi 0^{m},120 de largeur (*).

Pile. — La pile, composée d'une batterie de 8 pilons, repose sur trois longrines ou loirs en chêne ayant chacune 2 mètres de longueur sur 30/30 d'équarrissage, noyées dans un massif de maçonnerie brute de moellons avec chaux hydraulique (*f*, *g* et *h*, *fig.* 1 et 2, Pl. VII). Ces longrines portent une forte pièce de chêne ou seuil (*i*) de 2 mètres de longueur sur 50/60 de section qui reçoit : 1° les 3 jumelles en fonte pesant ensemble 650 kilog., et 2° les deux taques (*j*) ayant chacune 0^{m},590 de longueur, 0^{m},360 de largeur et 0^{m},160 d'épaisseur dont la coupe transversale est représentée *fig.* 5, Pl. VII. Ces taques sont à double rainure pour poser la grille ; et elles peuvent être retournées lorsqu'elles sont usées d'un côté ; elles pèsent ensemble 400 kilog. Les jumelles de rives ont 75 millimètres d'épaisseur, 0^{m},32 de largeur vis-à-vis les prisons

---

(*) Dans les dessins, nous avons simplement tracé les poulies et les cercles de contact des engrenages par des lignes ponctuées.

Pour éviter de charger le dessin dans le plan d'ensemble du bocard, Pl. VI, nous n'avons tracé ni les cames sur le cylindre de camage, ni les mentonnets des pilons ; le tout figure du reste dans la *fig* 1, Pl. VII.

et $0^m,18$ ailleurs; elles sont arrondies par le haut, et le bas de chacune d'elles forme une base de $0^m,320$ de longueur, $0^m,275$ de largeur et 70 millimètres d'épaisseur; la jumelle du milieu n'a que 55 millimètres d'épaisseur et sa base a $0^m,550$ de longueur, $0^m,055$ de largeur et 70 millimètres d'épaisseur; toutes les trois sont fixées sur le seuil par de fortes vis en fer (*fig.* 2, Pl. VII); la jumelle du milieu porte deux oreilles pour maintenir la grille dont il va être parlé, et les deux de rives n'en ont qu'une ainsi que le font voir les deux coupes par *ab* et *cd* des *fig.* 2, Pl. VII. Ces jumelles sont percées chacune de 4 trous rectangulaires ayant 30 millimètres de largeur sur 80 millimètres de hauteur pour le passage des 4 prisons ou barres de chacune $1^m,50$ de longueur, en fer de 25/75 millimètres. Ces barres forment d'un bout tête ou crochet et de l'autre elles sont arrêtées contre la jumelle par une clavette simple ou avec une rondelle; ces 4 prisons pèsent ensemble 85 kilog. environ.

Chacun des 8 pilons est formé d'un montant en bois de hêtre ayant $1^m,850$ de hauteur et une section de $0^m,14$ de côté; il est armé, dans le bas, d'un sabot en fonte pesant 12 kilog., fixé au moyen de 4 broches en fer avec têtes en acier pesant ensemble 3 kilog.; le montant pénètre de $0^m,09$ dans le sabot. Le mentonnet est en même bois et il a $0^m,42$ de longueur dont $0^m,18$ pour l'action de la came; il est maintenu par une clef en chêne de $0^m,28$ sur 7/7 centimètres. (Voir les *fig.* 7 et 8, Pl. VII.)

En aval des pilons se trouvent 2 grilles en fonte de $0^m,390$ de longueur chacune et de $0^m,50$ de hauteur pesant ensemble 60 kilog.; elles sont maintenues en bas dans la rainure de la taque et en haut par les oreilles des jumelles et par la prison; les barreaux de ces grilles sont espacés de 50 millimètres du côté amont et de 60 millimètres en aval. (Voir la *fig.* 6, Pl. VII.)

Les pilons sont mus par un cylindre en fonte armé de 24 cames aussi en fonte; ce cylindre a $1^m,40$ de longueur et $0^m,60$ de diamètre; il est creux, et l'épaisseur de la fonte est de 30 millimètres; il est percé sur son pourtour de 24 trous, disposés sur trois courbes hélicoïdes, destinés à recevoir les cames. Il est monté, avec coins en bois, sur un arbre en fonte de $2^m,20$ de longueur, $0^m,160$ de diamètre, auquel sont venus deux octogones aussi en fonte sur lesquels a lieu le calage du cylindre. Cet arbre, représenté *fig.* 4, Pl. VII, pèse 420 kilog. environ, et ses tourillons, qui ont 150 millimètres de diamètre, tournent dans 2 paliers en fonte à chapeaux pesant ensemble 150 kilog. Chacun d'eux est fixé avec 2 boulons pesant 5 kilog. sur une pièce de bois de chêne (*k* et *l*, *fig.* 1, Pl. VI), ayant

2 mètres de longueur sur 30/34 reposant d'un bout sur la maçonnerie et de l'autre sur un potelet (*m*) en chêne, de 0m,60 de hauteur, tenons compris, sur 24/24 emmanché dans les loirs (*f* et *h*), supportant le seuil de la pile.

Les cames, pesant chacune 5 kilog. environ, se fixent sur le cylindre au moyen de coins en bois, et l'on peut les remplacer facilement lorsqu'elles sont usées. (Voir *fig.* 10, Pl. VII.)

Le minerai soumis au bocardage est déversé, au moyen de brouettes, de tombereaux ou de wagons sur le glacis situé en avant de la pile (*n* des *fig.* 1, Pl. VI et VII). Ce glacis est composé de 3 petits loirs en bois de chêne ayant chacun 1m,75 de longueur sur 10/10, dont un repose sur le seuil de la pile et les deux autres sur la maçonnerie; ils sont recouverts d'une plaque en fonte pesant 150 kilog. et ayant 0m,88 de longueur, 0m,96 de largeur en haut et 1m,35 en bas.

En sortant de dessous les pilons, où il est entraîné par l'eau, le minerai passe à travers les grilles et le même courant d'eau le jette dans la huche du patouillet en passant sur un nouveau glacis (*o*) composé, comme le précédent, de 3 loirs en bois de chêne ayant chacun 2 mètres de longueur sur 8/8 noyés dans la maçonnerie et recouverts d'une plaque en fonte de 1m,35 de longueur sur 1m,40 de largeur en haut, 1m,15 en bas, pesant 250 kilog.

Les costières du glacis supérieur sont formées de 3 pièces de bois de chêne (*p*, *q* et *r*, *fig.* 1, Pl. VI) ayant ensemble 3m,30 de longueur sur 10/10, avec une garniture en planches de hêtre. Les costières du glacis inférieur sont formées de planches de hêtre de 27 millimètres d'épaisseur attachées aux pièces de bois supportant les paliers et aux poteaux des chevalets du patouillet.

Huche du patouillet. — La huche du patouillet a 4m,50 de longueur dans œuvre et elle est décrite avec un rayon de 0m,710; elle se compose de 3 loirs en bois de chêne *s*, *t* et *u*, *fig.* 3, Pl. VII, ayant chacun 4m,70 de longueur sur 20/20 noyés dans le massif en maçonnerie figuré dans la grande coupe, *fig.* 1, Pl. VII. Sur ces loirs se trouvent 4 chevalets semblables, en bois de chêne, représentés dans la coupe ci-dessus et *fig.* 3, Pl. VII; chacun d'eux est formé: 1° d'un seuil de 3 mètres sur 24/24; 2° de 2 poteaux ou montants de 1m,50, tenons compris, sur 20/24; 3° de 2 bras échancrés suivant une courbe de 0m,78 de rayon et ayant chacun 0m,85 de longueur, tenons compris, sur 16/20; 4° enfin de 2 contre-fiches ayant chacune 0m,65 sur 10/12. Ces chevalets sont revêtus intérieurement, pour former la huche, d'une garniture en planches de hêtre de 50 millimètres d'épaisseur et d'un développement de 3m,25 formant une

surface de $14^{m^2},60$. Cette huche en bois est garnie, sur moitié de sa circonférence, de 30 planches en fonte dont la courbure est décrite avec un rayon de $0^m,73$ et qui ont chacune 226 millimètres de largeur et 20 millimètres d'épaisseur, soit un poids total de 1.500 kilog. environ. Les montants des chevalets sont réunis entre eux, à leur partie supérieure et de chaque côté, par un chapeau en chêne de $4^m,55$ de longueur sur 14/20. L'extrémité amont de la huche, près de la pile, est fermée par une plaque en fonte de 25 millimètres d'épaisseur fixée extérieurement aux montants et au seuil du chevalet de rive du patouillet par 20 boulons à écrous. Cette plaque en fonte ayant $1^m,96$ de longueur sur $0^m,95$ de hauteur, porte, à sa partie supérieure, un rebord de 25 millimètres et dans le milieu elle forme une coquille de $0^m,170$ de longueur, avec forte nervure en dessous, recevant le tourillon de l'arbre du patouillet; cette plaque pèse environ 400 kilog. L'autre extrémité de la huche est garnie d'une plaque identiquement semblable, mais ne descendant pas jusqu'au niveau du seuil du chevalet, afin de laisser passer le minerai se rendant à la drague; cette dernière plaque est représentée dans la coupe de la drague, *fig.* 2, Pl. VI; elle est fixée au montant du chevalet par 8 boulons à écrous et elle pèse environ 300 kilog.

L'arbre du patouillet est en fonte: il a $5^m,20$ de longueur et 180 millimètres de diamètre; il porte 4 renflements ayant $0^m,20$ de diamètre, dont 2 au milieu, de chacun $0^m,20$ de longueur recevant les tourtes; les autres ont, celui amont $0^m,60$ et celui aval $0^m,67$; il pèse environ 1.000 kilog. et les tourillons ont 160 millimètres de diamètre. Cet arbre porte: 1° le grand engrenage (*d*) de $2^m,880$ de diamètre dont nous avons parlé ci-dessus; 2° 4 tourtes en fonte montées à clefs, à chacune 6 bras nervés, dont le moyeu est alaisé à 200 millimètres de diamètre et dont la couronne a 60 millimètres de largeur et le moyeu $0^m,150$ de longueur; chaque tourte, pesant environ 200 kilog., porte 6 encoches recevant les barreaux du patouillet. (Voir les *fig.* 1 des Pl. VI et VII.)

Les 6 barreaux sont en fer carré de 40 millimètres de côté et ils ont chacun $4^m,65$ de longueur, ce qui donne un poids total de 340 kilog. Ils sont fixés sur les tourtes au moyen de boulons avec clavettes en fer; les trous percés dans ces barreaux sont fraisés de manière que la tête du boulon ne dépasse pas; chacun de ces boulons a $0^m,10$ de longueur et pèse $0^k,285$ avec sa clavette, soit pour les 24 un poids de 7 kilog. L'extrémité aval de l'arbre porte un engrenage en fonte de $0^m,50$ de diamètre à 6 bras nervés et pesant 75 kilog. (*x*, *fig.* 2, Pl. VI), se conjuguant à un autre engrenage

aussi en fonte, et a 6 bras nervés de $0^m,90$ de diamètre pesant 145 kilog. (2, même *fig.*) monté sur l'arbre de la drague; ces deux engrenages ont 120 millimètres de largeur de couronne.

Drague. — La fosse de la drague est en maçonnerie de moellons et de pierre de taille, comme l'indique la *fig.* 2, Pl. VI. La fosse est décrite avec un rayon de $1^m,750$. La maçonnerie en pierre de taille, ayant 4 mètres de longueur sur $1^m,20$ de largeur et $1^m,75$ de hauteur, comprend un vide de $0^m,60$ de largeur; cette maçonnerie est entourée, extérieurement, d'une autre en moellons avec mortier de chaux hydraulique, de $0^m,25$ d'épaisseur. Sur la maçonnerie en pierre de taille, il existe un châssis en bois de chêne composé d'un cours de seuil, de 4 poteaux et d'un cours de chapeau, le tout en bois de chêne d'un développement de $19^m,20$ sur 15/15. Sur les seuils sont fixés, au moyen de 4 boulons à écrous, 2 paliers en fonte à chapeaux, pesant ensemble environ 80 kilog. et recevant l'arbre de la drague. (Voir les *fig.* 2 et 3, Pl. VI, et *fig.* 9, Pl. VII.)

Cet arbre en fonte est creux, il a 1 mètre de longueur et $0^m,150$ de diamètre, pesant 125 kilog.; il reçoit, au moyen de clefs en fer: 1° l'engrenage de $0^m,90$ dont il est parlé ci-dessus et 2° un tourteau en fonte à 6 bras pesant 70 kilog.; chacun des bras de ce tourteau reçoit, au moyen de boulons à écrous, une barre de fer de $1^m,55$ de longueur sur $40/100^{mm}$, à l'extrémité de laquelle est fixée, aussi au moyen de deux boulons à écrous, une poche ou drague en fonte pesant environ 15 kilog. Ces poches ou dragues, percées chacune sur le fond de 63 trous fraisés extérieurement, déversent le minerai sur un plan incliné, appelé *baveret*, représenté en plan et en élévation par les *fig.* 3, Pl. VI, et *fig.* 9, Pl. VII; ce baveret, fait en planches de chêne de 27 millimètres, a $1^m,35$ de longueur, $1^m,30$ de largeur dans le haut et $0^m,50$ dans le bas; les planches sont clouées sur 2 autres de chacune $0^m,20$ de largeur et ayant ensemble $1^m,80$ de longueur; les costières, en même bois, ont $0^m,20$ de hauteur; il est fixé sur un des chapeaux du châssis et intérieurement il est garni d'une feuille de tôle ayant une surface de $1^m,50$ et pesant 25 kilog.

Les 6 bras en fer de la drague, pesant ensemble 280 kilog., sont reliés entre eux au moyen d'une barre en fer de $20/70^{mm}$ formant un hexagone de $0^m,85$ de côté, pesant 55 kilog. et fixé auxdits bras par 6 boulons à écrous. (Voir la *fig.* 2 de la Pl. VI.)

Prise d'eau. — La prise d'eau a lieu dans la rivière au moyen d'un canal de 35 mètres de longueur dont le radier est au niveau des plus basses eaux; ce canal a $0^m,60$ de largeur et $1^m,20$ de hau-

teur, il est fait en maçonnerie de moellons avec mortier de chaux hydraulique; les murs latéraux ont 0m,60 d'épaisseur et reposent sur un béton formant le radier qui a 0m,40 d'épaisseur. Ce canal est couvert par des dalles en roche dure ayant 0m,15 d'épaisseur et 1 mètre de largeur; la tête sur la rivière est en pierre de taille. Cet aqueduc débouche dans un puits de 4 mètres de profondeur et 0m,80 de diamètre garni d'une maçonnerie sèche en moellons de 0m,30 d'épaisseur et recouvert de 4 dalles de 0m,15 d'épaisseur en pierre de taille formant un rectangle de 1m,25 sur 1m,20. Ces 4 dalles laissent un trou de service de 0m,60 de côté avec des feuillures de 20 millimètres de largeur recevant un couvercle, ou pour mieux dire deux planches de chêne de chacune 0m,32 de largeur et 0m,64 de longueur échancrées pour le passage du tuyau d'aspiration. Ce tuyau d'aspiration est en fonte, il a 140 millimètres de diamètre intérieur et il est supporté dans le puits par deux pièces de bois semblables de chacune 1 mètre de longueur sur 20/20 échancrées suivant la circonférence du tuyau.; ces pièces de bois sont engagées de 0m,10 à chaque extrémité dans la maçonnerie du puits. Le premier tuyau a 1m,05 de hauteur et au bas il reçoit une lanterne ou crépine de 0m,40 de diamètre et 0m,350 de hauteur fixée à bride avec 3 boulons à écrous. Sur ce premier tuyau s'en trouve un autre de 2m,05 traversant l'orifice du puits et se fixant à un coude en fonte du même diamètre et d'un rayon de 0m,60 adapté à la pompe centrifuge. La poulie en fonte (*b*) de 1m.90 de diamètre, montée sur l'arbre de transmission en fer de 1m,32 de longueur et 120 millimètres de diamètre, donne le mouvement, au moyen d'une courroie simple en cuir de 11 mètres de longueur et de 200 millimètres de largeur, à une poulie aussi en fonte de 0m,456 de diamètre, à 6 bras cintrés pesant 50 kilog. montée sur un arbre en fer de 60 millimètres de diamètre et 1m,10 de longueur; ce dernier arbre tourne dans deux petits paliers en fonte, garnis de coquilles en bronze, fixés au moyen de boulons à écrous sur deux traverses en chêne de chacune 1m,80 sur 16/16 qui sont boulonnées sur deux longrines en même bois ayant 4,60 sur 16/20 et qui reposent sur les entraits des fermes. (Voir *fig.* 1. Pl. VII.)

Sur ce petit arbre en fer de 1m,10 se trouve une autre poulie aussi en fonte de 1m,200 de diamètre à 6 bras cintrés et 0m,20 de largeur de jante pesant 100 kilog. faisant mouvoir la pompe au moyen d'une courroie simple en cuir de 7 mètres de longueur; la poulie (*v*) de la pompe a 0m,192 de diamètre. La pompe que nous proposons est du système Neut et Dumont, pompe centrifuge à double palier. Nous donnons la préférence à ce système parce que les eaux des

rivières n'étant jamais exemptes de sable, etc., on éprouve de fréquents ennuis avec les pompes à clapets ou à soupapes.

A la sortie du corps de pompe, l'eau s'élève dans un tuyau de 1^{m},630 de longueur se raccordant à bride et boulons à un tuyau cintré, décrit avec un rayon de 0^{m},60, débouchant dans une bâche en fonte; ce tuyau cintré est soutenu par un étrier en fer fixé à la panne de la charpente. La bâche en fonte a 1^{m},50 de longueur, 0^{m},60 de largeur et 1 mètre de hauteur, soit une capacité de 900 litres, et elle pèse environ 750 kilog.; elle porte en dessous une tubulure de 0^{m},26 de hauteur et 140 millimètres de diamètre intérieur recevant, au moyen d'une bride et 3 boulons, un tuyau vertical en fonte de même diamètre et de 1^{m},20 de hauteur réuni aussi avec bride et 3 boulons à la tubulure d'un tuyau de 1^{m},05 de longueur. Ce dernier tuyau est incliné et il reçoit un coude en fonte de même diamètre, décrit avec un rayon de 0^{m},50, auquel est fixé un tuyau à tubulure de 1^{m},30 de longueur; à la tubulure de ce dernier tuyau est adaptée une pièce en fonte appelée la *goulotte* déversant l'eau sur le glacis (n) ou plan incliné sur lequel on déverse le minerai pour être bocardé (*fig.* 1 des Pl. VI et VII). Cette pièce en fonte ou goulotte a un orifice de sortie de 0^{m},85 sur 70 millimètres et pèse environ 50 kilog.; elle est munie d'un papillon ou registre pour donner la quantité d'eau voulue, le reste étant dirigé par la conduite π sur le minerai enlevé par les dragues afin de le mieux laver. (Voir la *fig.* 1, Pl. VI.)

Le bâti de la pompe est fixé, au moyen de 8 boulons à clavettes, sur une pierre de taille de 1^{m},40 de longueur, 0^{m},60 de largeur et 0^{m},80 de hauteur, engagée de 0^{m},30 dans une maçonnerie en moellons avec mortier de chaux hydraulique.

La bâche en fonte repose sur 2 chevalets en bois de chêne composés chacun comme il suit: 1 seuil de 1^{m},60 sur 16/20; 1 chapeau de 0^{m},88 sur 16/16; 2 jambes ayant ensemble 3^{m},20 sur 12/14. Ces chevalets sont reliés entre eux par deux traverses semblables ayant chacune 0^{m},60 de longueur sur 10/12.

L'eau ayant servi à la préparation du minerai de fer sort de la huche du patouillet par un canal en maçonnerie de 2 mètres de longueur, 0^{m},40 de largeur et 0^{m},20 de hauteur (ω, *fig.* 1, Pl. VI); le niveau du radier de ce canal se trouve à 0^{m},125 en contre-bas de l'axe de l'arbre du patouillet, c'est-à-dire au niveau de l'entrée de l'eau dans la huche.

Il convient de mettre toujours la sortie des eaux sales du côté de la pile afin d'éviter de jeter du minerai dans la rivière ou dans les bassins d'épuration. Cette sortie se trouve très-souvent du côté

opposé et il en résulte que, le minerai étant soulevé par les barreaux du patouillet, une partie s'échappe avec le courant et que la tête des bassins d'épuration renferme toujours beaucoup de minerai. Le canal de sortie se raccorde à une conduite en fonte de 50 mètres de longueur en tuyaux de descente de 243 millimètres de diamètre intérieur, pesant environ 1.650 kilog. et débouchant dans les bassins d'épuration.

Bassins d'épuration. — Les bassins d'épuration, pour les ateliers de lavage de minerai de fer, sont des récipients creusés dans le sol ou établis en relief et dans lesquels les eaux saturées de matières terreuses vont séjourner pour se clarifier. Dans l'espèce, le premier bassin, dit de dépôt, a une longueur développée de 158 mètres et une largeur de 29 mètres, soit une surface de $158 \times 29 = 4.582^{m^2}$ mesurée à la partie inférieure des digues. A sa sortie de ce premier bassin et pour se rendre dans le deuxième bassin dit de clarification qui a 79 mètres sur 29 mètres, soit une surface de 2.291^{m^2}, l'eau passe sur un déversoir en maçonnerie de moellons avec mortier de chaux hydraulique ayant $2^m,60$ de longueur, $0^m,80$ de largeur et $1^m,50$ de hauteur couronnée par une tablette en pierre de taille de $0^m,10$ d'épaisseur surmontée d'un madrier en chêne de 2 mètres de longueur, $0^m,10$ de hauteur et $0^m,20$ de largeur dont la crête se trouve à $0^m,20$ en contre-bas de la plate-forme des digues d'enceinte. Après avoir parcouru ce dernier bassin, pour achever de se débarrasser des matières terreuses qu'elle tient encore en suspension et qui sont les plus légères, l'eau passe sur un deuxième déversoir semblable au précédent, mais ayant seulement $1^m,60$ de longueur et également surmonté d'un madrier en chêne de $0^m,10$ d'épaisseur dont la crête se trouve aussi à $0^m,20$ en contre-bas de la plate-forme des digues.

Ces déversoirs présentent généralement les débouchés suivants: 2 mètres pour le premier et 1 mètre seulement pour le second.

Le curage des bassins d'épuration et une charge très-onéreuse (*), et pour faciliter ce travail, qui doit avoir lieu annuellement, il est très-convenable et nous dirons même indispensable, lorsqu'on dispose de vastes terrains, d'avoir deux jeux de bassins afin de pouvoir laisser dessécher les morées pendant plusieurs mois avant de les enlever. Le fond de ces bassins doit être horizontal et la force des digues est en raison de la nature du terrain. Dans la Haute-

(*) Dans l'arrondissement de Vassy, il y a des ateliers de lavage où cette opération revient à $1^f,80$ par mètre cube de minerai lavé, soit à environ $2^f,75$ par tonne de fonte.

Marne, et pour une profondeur de bassins de 1^{m},80 en contre-bas de la crête des déversoirs, on donne ordinairement aux digues une largeur de 4 mètres à la base et 1 mètre à la plate-forme. Lorsque les bassins sont établis en relief sur le sol et qu'ils limitent des propriétés appartenant à des tiers, il faut établir au pourtour des digues des fossés de 0^{m},50 de profondeur pour recevoir les eaux d'infiltration ; bien entendu ces digues doivent être à l'abri des débordements.

Les bassins les plus commodes sont ceux établis en relief sur une déclivité de terrain. Depuis environ neuf ans, dans l'arrondissement de Wassy, on ne fait presque plus de curage de bassins d'épuration ; on achète ou plus rarement on loue des terrains, et, au moyen de pompes ou plus généralement de norias en bois, on remonte les eaux de lavage aussi haut que possible. Il n'est pas rare de voir, dans la vallée de la Blaise surtout, des terrains de plusieurs hectares exhaussés de 4 mètres avec des morées. Tous les ans, dans ces bassins qui sont établis en relief, on relève les digues ou pour mieux dire on en fait de nouvelles avec les morées mêmes. On trouve ainsi une notable économie sur les curages annuels.

Les terrains sur lesquels sont établis ces bassins en relief sont vendus très-cher, de 3 à 5.000 francs l'hectare ; des locations sont consenties de 850 à 1.200 francs par hectare, et dans ce dernier cas le bailleur reprend ses propriétés telles qu'elles se trouvent lorsque le locataire ne peut plus les utiliser.

Dans les morées et surtout en tête des bassins, nous avons remarqué que la luzerne vient très-bien. Le bassin de clarification ne recevant que des morées très-argileuses, il faut plusieurs années de sécheresse avant de pouvoir le mettre en culture, et encore est-il prudent de s'assurer de la résistance du terrain avant d'y entrer avec des chevaux.

Hallage de l'établissement. — Ce hallage est formé de 5 fermes sur poteaux dont trois pour le bocard proprement dit et deux pour la chambre de la locomobile. L'emplacement du bocard occupe une surface couverte de 8^{m},20 sur 9^{m},15, soit 75 mètres carrés, et celui de la locomobile a 5^{m},30 sur 6^{m},60, soit une surface de 35 mètres carrés ou en tout 110 mètres carrés.

Sur 4 faces il existe des fondations en maçonnerie de moellons avec mortier ordinaire, ayant une longueur développée de 20^{m},60, une largeur de 0^{m},50 et une hauteur de 0^{m},60 ; toutes ces fondations sont recouvertes de tablettes, qui reçoivent 9 dés en pierre de taille supportant les poteaux des fermes ; les 3 autres dés reposent

chacun sur un massif en maçonnerie de moellons ayant 0^m,60 dans tous les sens, soit un cube de 0^{m3},648.

Chacune des 3 grandes fermes sur le bocard est en bois de chêne et se compose comme il suit :

2 dés en pierre de taille de chacun 0^m.40 dans tous les sens ;
2 poteaux de chacun 2^m,20 sur 20/20 ;
2 liens de poteaux de chacun 1^m,70 sur 10/12 ;
1 entrait de 7^m,40 sur 20/20 ;
2 arbalétriers de chacun 4 mètres sur 14/16 ;
1 poinçon de 2 mètres sur 20/20 ;
2 contre fiches de chacune 1^m.40 sur 10/12 ;
2 petits liens de chacun 0^m,60 sur 10/12.

Le poinçon est relié à l'entrait par un étrier en fer avec 2 boulons à écrous pesant 8 kilog. Deux entraits des fermes sont maintenus, dans le milieu, par un poteau semblable aux autres avec deux liens et une semelle de 3 mètres sur 10/12 ; chaque poteau repose sur un dé aussi semblable aux autres avec maçonnerie en moellons de 0^m,60 dans tous les sens.

Ces trois fermes reçoivent : 1° 4 cours de pannes en sapin ayant chacun 9 mètres sur 18/20 en moyenne ; 2° un faîtage en chêne de 9 mètres sur 16/16 avec 4 liens de faîtage de chacun 1^m,50 sur 10/12 ; 3° une sablière en chêne de 9 mètres sur 16/16 ; une autre de 4 mètres sur 16/16 ; enfin une troisième, formant pièce de noue, de 4^m,70 sur 20/20 ; ces sablières sont munies de 8 liens également en chêne de chacun 1^m.70 sur 10/12.

La couverture en tuiles mécaniques, grand modèle, repose sur un tringlage avec chevronnage en sapin ; elle a une surface de $9^m,50 \times 9^m,15 = 87$ mètres carrés.

Le local de la locomobile est formé de 2 fermes semblables composées chacune comme il suit :

2 dés en pierre de taille de 0^m,40 dans tous les sens ;
1 poteau de 2^m,20 sur 20/20 avec un lien de 1^m,70 sur 10/12 ;
1 poteau semblable au milieu avec une semelle de 3 mètres sur 10/20 et 2 liens de 1^m,70 sur 10/12 ;
1 entrait de 6^m,40 sur 20/20 ;
2 arbalétriers de chacun 3^m,35 sur 14/16 ;
1 poinçon de 1^m,80 sur 20/20 ;
2 contre-fiches de chacune 1^m,10 sur 8/10 ;
1 lien reliant le poteau de la ferme du bocard à l'entrait ci-dessus de 1^m,70 sur 10/12.

Ces 2 fermes reçoivent : 1° un faîtage en chêne de 5 mètres sur 14/15 ;

2° Une sablière de 5 mètres sur 16/16 avec 2 liens de chacun 1m,70 sur 10/12;

3° 4 cours de pannes en sapin de chacun 5 mètres sur 15/16 en moyenne.

La couverture est exactement semblable à la précédente, et donne une surface développée de 7m,40 × 5 mètres, soit 37 mètres carrés.

A la réunion des deux couvertures, les eaux tombent dans une noue en tôle de 5m,20 de longueur, 0m,50 de largeur et 3 millimètres d'épaisseur pesant environ 60 kilog. Cette noue déverse dans un tuyau de descente en fonte de 100 millimètres, et 3 mètres de longueur y compris un dauphin qui débouche dans le puits; poids des tuyaux, 40 kilog.

Dans la face sud du local de la locomobile se trouve une ouverture de 2m,35 de largeur et 2m,50 de hauteur formée: 1° d'un seuil en chêne de 3 mètres sur 20/20, reposant sur la maçonnerie des fondations; 2° de 2 montants de chacun 2m,80 sur 18/18 avec feuillures de 40 millimètres emmanchés dans le seuil et boulonnés à la sablière; cette ouverture est garnie d'une porte en sapin à deux ventaux, planches refendues rainées et languettées fixées sur 4 cours de barres et sur 2 écharpes en chêne; ces portes sont ferrées de 4 fortes pentures avec gonds, d'un crochet d'arrêt, d'une serrure et d'une clenche à pouce; elles forment une surface de 2m,44 × 2m,50 = 6m²,10 et elles sont peintes aux 2 parements.

Le reste de cette face, entre les montants de la porte et les poteaux des fermes, est fermé par une maçonnerie en briques cuites de 0m,11 d'épaisseur posées au plâtre, soit pour cette face 1m,65 × 2m,50 × 0,11 = 0m³,454.

Dans la face est se trouvent deux fenêtres semblables à 6 carreaux et ayant 1m,40 de hauteur sur 1 mètre de largeur; chacune d'elles est montée à feuillures dans un châssis en bois de chêne, composé de deux montants de 2m,50 sur 11/13 et de deux traverses de chacune 1m,20 sur 9/12.

Le surplus de cette face, jusque sous l'entrait, soit sur 10 mètres carrés, est fermé aussi par une maçonnerie en briques cuites donnant un cube de 1m³,100.

La face opposée est pleine, soit 14m² × 0m,11 = 1m³,54; les deux pointes de pignons sont garnies en planches brutes de sapin avec couvre-joints, clouées aux arbalétriers, entraits et contre-fiches, et forment ensemble une surface de 12 mètres carrés.

Les faces sud et ouest du local du bocard sont fermées par une maçonnerie en briques, s'arrêtant sous les sablières et les entraits

et formant une surface de $(6^m,60 + 3,40) \times 20^m,50 = 25^{m2}$, soit $2^{m2},75$. La pointe du grand pignon ouest est garnie, comme les précédentes, de planches brutes de sapin. Entre le local de la locomobile et le bocard il existe une cloison de $4^m,40$ de longueur et 3 mètres de hauteur, également en planches brutes de sapin clouées en haut à la sablière ou pièce de noue, en bas sur un seuil en chêne de $4^m,40$ sur 12/14 et au milieu sur une traverse de $4^m,40$ sur 10/12. Dans cette cloison se trouvent les ouvertures nécessaires pour le passsage des courroies et une porte de 1 mètre de largeur sur 2 mètres de hauteur en mêmes planches clouées sur 2 barres et une écharpe en chêne; cette porte est ferrée de 2 pentures avec gonds, d'une clenche et d'une serrure; elle est montée sur 2 potelets en chêne de chacun $2^m,75$ sur 10/10.

DEVIS.

§ 1. — Bassins d'épuration et exhaussement du sol de $1^m,20$ pour établir l'usine et les parcs à minerai.

Terres à enlever : $5.625^{m2} \times 1^m,20 = 6.750^{m3}$, dont une partie sera jetée sur les digues pour les élever de $0^m,30$ et le reste sera transporté à la brouette à une distance moyenne de 60 mètres, pour former le nouveau sol des

		francs.
parcs à minerai et du bocard.	6.750^{m3} à $0^f,85$	5.737,50
Maçonnerie en moellons des déversoirs.	$5^{m3},04$ à 13 ,70	69,05
Dalles en pierre de taille pour recouvrement. . .	$0^{m3},336$ à 51 ,00	17,15
Canal de sortie de la huche en pierre de taille. .	$0^{m3},320$ à 51 ,00	16,30
		5.840,00

§ 2. — Canal de prise d'eau.

Terrassements : $35^m \times 1^m,80 \times 2^m,80 = 176^{m3},40$ à $0^f,80$.	140,80
Béton formant radier : $35^m \times 1^m,80 \times 0^m,40 = 25^{m3},20$ à $16^f,40$.	413,28
Maçonnerie en moellons : $70^m \times 1^m,20 \times 0^m,60 = 50^{m3},40$ à $13^f,70$.	690,48
Dalles de recouvrement : $35^m \times 1^m,60 \times 0^m,15 = 8^{m3},40$ à $35^f,00$.	294,00
Tête du canal en pierre de taille : $0^{m3},740$ à $51^f,00$.	37,74
	1.576,30

§ 3. — Puits.

	francs
Terrassements : $D = 1^m,40$, $N = 2^m,80 = 4^{m3},30$ à $1^f,50$.	6,45
Maçonnerie sèche en moellons de Sossa : $3^m,14 \times 0^m,30 \times 4^m,00 =$ $= 3^{m3},80$ à $11^f,10$.	42,18
Dalles de recouvrement : $(1,25 \times 1,20 \times 0.15) - (0,60 \times 0,60 \times$ $\times 0.15) = 0^{m3},171$ à $51^f,00$.	8,72
Planches couvrant l'orifice du puits : $0,64 \times 0.64 = 0^{m2},40$ à $3^f,50$.	1,40
Pièces de bois soutenant les tuyaux : $0^{m3},080$ à 100^f $(2 \times 1^m,00 \times$ $\times 20/20)$.	8,00
	66,75

§ 4. — Bocard.

	m3		francs
Terrassements pour les fosses des engrenages et des poulies.	10,50	28,90 m3 à 0,80 fr. =	23,12
Terrassements pour les fosses des dragues.	7,20		
— — du patouillet.	11,20		
Maçonnerie en moellons pour la pile et la huche.	16,08	40,00 à 13,70 =	548,00
Maçonnerie en moellons pour la drague.	7,10		
Maçonnerie en moellons pour les fosses des engrenages et des poulies.	15,00		
Maçonnerie en moellons sous les assises des transmissions et de la pompe. . . .	1,75		
Maçonnerie en pierre de taille pour les fosses des engrenages et des poulies. .	7,20	13,30 à 51,00 =	678,30
Maçonnerie en pierre de taille pour la drague.	6,10		
Pierre de taille sous la pompe : $1,40 \times 0,80 \times 0,60 = 0^{m3},672$ à $51^f,00$.			34,27
Pierre de taille sous la 1re transmission : $2 \times 0,80 \times 0,60 \times 0,50 =$ $= 0^{m3},480$ à $51^f,00$.			24,48

	m3
Charpente : 3 loirs de fond pour la pile : $3 \times 2^m,00 \times$ $\times 30/30 =$	0,540
1 seuil : $2^m,00 \times 50/60 =$	0,600
2 pièces supportant les paliers : $2 \times 2,00 \times 30/34 =$	0,408
2 potelets : $2 \times 0,60 \times 24/24 =$.	0,070
3 loirs sous le glacis supérieur : $3 \times 1^m,75 \times 10/10 =$	0,052
3 loirs sous le glacis inférieur : $3 \times 2^m,00 \times 8/8 =$.	0,038
3 costières pour le glacis supérieur : $3 \times 2^m,00 \times 8/8 =$	0,038
3 loirs de fond du patouillet : $3 \times 4^m,50 \times 20/20 =$	0,540
4 chevalets formant la huche à $0^{m3},387$.	1.548
2 chapeaux sur les chevalets : $2 \times 4,55 \times 14/20 =$	0,252
Châssis double de la drague.	0,432
Châssis pour transmission de la pompe.	0,386

A reporter. . . . . 4,904 — 1.308,17

		francs.
Report.	4,904	1.308,17
2 chevalets portant la bache.	0,270	
4 pièces de bois pour calage des roues de la locomobile.	0,128	
	5,302 à 130^{f}.	689,26
Garniture en planches de la huche : 14^{m2},60 en hêtre à 5^{f},00. . .		73,00
Costières en planches des 2 glacis : — 2^{m2},00 en hêtre à 2^{f},50. . .		5,00
Entourage en planches du châssis de la drague : 11^{m2},50 à 3^{f},00. .		34.50
Baveret en planches de chêne : 1^{m2},82 = tout compris à 5^{f},00; garniture en tôle de 10^{f}.00.		19,10
8 pilons en hêtre avec mentonnets et clefs à 3^{f},00. . . . . 24,00 8 sabots en fonte 100^{k} à 0^{f},25. . . . 25,00 32 broches en fer avec têtes en acier 15^{k} à 1^{f} = ... 15,00	64^{f}, soit 8^{f} le pilon =	64,00
		2.193,03

§ 5. — Courroies en cuir.

1° Une courroie double de 11^{m},50 de long. et 0^{m},20 de larg.	283^{f},00	
2° Une — simple de 11 ,00 — — —	132 ,00	500,00
3° Une — simple de 7 ,00 — — —	85 ,00	

§ 6. — Locomobile et pompe.

Locomobile de 15 chevaux avec son train de 4 roues, ses poulies, son volant, son réchauffeur et les divers accessoires : prix en gare de Paris.	11.300.00
Emballage 350^{f}; transport pour 260 kilom. et 7.800 kilog. 420^{f}. .	770,00
Mise en place, montage et faux frais de toute nature.	130,00
Pompe centrifuge à double palier n° 2 *bis* de la série de MM. Neut et Dumont.	725,00
Transport, mise en place et faux frais.	125,00
	13.050,00

§ 7. — Bocard : fontes.

		mètres.		kilog.		
1 poulie tournée et moyeu alésé	de	2,800	pesant	550	kilog. les 100 kil. 1.100 à 650^{f} =	715,00
1 — —	de	1.900	—	400		
1 — —	de	1.200	—	100		
1 — —	de	0.456	—	50		
1 engrenage — et moyeu alésé	de	0,450	—	70	1.620 à 600^{f} =	972,00
1 — —	de	2,880	—	1.200		
1 — —	de	0,720	—	130		
1 — —	de	0,900	—	145		
1 — —	de	0,500	—	75		

A reporter. 1.687

			francs.
	Report.		1.687,00
2 paliers pour l'arbre de transmission. . .	80	3.470 à 500f =	1.735,00
2 — de la drague.	80		
2 — du cylindre de camage.	150		
2 paliers pour l'arbre de transmission de la pompe.	20		
Arbre du cylindre de camage et le cylindre.	1.020		
Arbre du patouillet.	1.000		
Arbre de la drague.	100		
4 tourtes du patouillet.	800		
Tourteau de la drague.	70		
6 poches ou dragues.	150		
Les 24 cames.	120	1.230 à 400f =	492,00
Les 3 jumelles.	650		
Les 2 taques de la pile.	400		
Les 2 grilles.	60		
Plaques à chaque bout de la huche du patouillet.	700	à 450f =	315,00
Garniture en fonte de la huche.		1.500 à 240f =	360,00
Tuyaux à brides tournées pour : l'aspiration de la pompe. .	215	600 à 280f =	168,00
le refoulement à la bache.	120		
la conduite d'eau à la pile.	265		
Bache en fonte de 1m,50 sur 1m,00 et 0m,60. . . .		900 à 250f =	225,00
Goulotte.		50 à 260f =	13,00
Deux plaques formant glacis en avant et en aval des pilons.		400 à 220f =	88,00
Tuyaux de descente à emboîtement allant aux bassins d'épuration.		1.600 à 220f =	352,00
			5.435,00

§ 8. — **Bronze.**

Coquilles en bronze dans les paliers de la transmission de la pompe.		1k,400 à 5f =	7,00

§ 9. — **Fer.**

	kilog.		
Arbre en fer tourné de la 1re transmission. . .	115	140 à 0f,70 =	98,00
— de la transmission de la pompe.	25		
Les 4 prisons des pilons.	80	760 à 0f,55 =	418,00
Les 6 barreaux du patouillet.	345		
Les 6 bras de la drague.	280		
L'hexagone reliant les bras de la drague. . . .	55		
Boulons, clefs et clavettes, nécessaires pour le montage.		120 à 1f,00 =	120,00
			636,00

§ 10. — Bâtiment.

	francs.
Fondations en maçonnerie de moellons bruts avec mortier de sable et de chaux hydraulique $6^{m3},830$ à $13^{f},70$	93,57
12 dés en pierre de taille $0^{m3},768$ à 51^{f}	39,17
Tablettes recouvrant les fondations $0^{m3},870$ de pierre de taille à 51^{f}	44,37
5 fermes de charpente en chêne, sablières, faîtage, etc., $5^{m3},83$ à 120^{f}	699,60
Pannes en sapin $1^{m3},80$ à 75^{f}	135,00
5 étriers en fer avec boulons 40^{k} à 80^{f} les 100 kil.	32,00
Couverture, 124^{m2} à 4^{f}	496,00
Noue en tôle peinte à l'huile 60^{k} / Tuyaux de descente en fonte avec crochets 40^{k}	46,60
Maçonnerie en briques cuites avec mortier de chaux et de sable $5^{m3},83$ à $28^{f},80$ =	167,90
Garnitures des 4 pointes de pignons en planches de sapin brutes avec couvre-joints $25^{m2},50$ à $2^{f},50$ =	63,75
Grande porte d'entrée du local de la locomobile, avec ferrements, peinture et châssis 6^{m2} à 12^{f}	72,00
4 fenêtres vitrées avec ferrements, châssis en bois de chêne, peinture à l'huile	71,60
Cloison de séparation entre le bocard et la locomobile	60,00
	2.021,56

§ 11. — Parcs à minerai.

Après le régalage de la terre venant du creusement des bassins, on mettra une couche de $0^{m},10$ d'épaisseur de pierres cassées à l'anneau de 70 millim., sur laquelle on répandra une couche de gravier de $0^{m},02$ d'épaisseur, qui sera pilonnée et au besoin arrosée, soit un cube de 370^{m3} à 4^{f} le mètre cube rendu	1.480,00
Mise en œuvre $0^{f},40$ par mètre cube	148,00
74 mètres cubes de gravier d'agrégation à $2^{f},50$ mis en œuvre	185,00
Pilonnage de 3.700 mètres carrés à $0^{f},05$	185,00
	1.998,00

§ 12. — Acquisition de terrain.

Acquisition de 1 hectare 50 ares de terrain à 8.000^{f} l'hectare pour l'établissement de l'usine et des bassins d'épuration	12 000,00

RÉSUMÉ DU DEVIS.

§ 1. — Bassins d'épuration		5.840,00
§ 2. — Canal de prise d'eau		1.576,30
§ 3. — Puits		66,75
§ 4. — Bocard : Terrassements et maçonneries	$1.308^{f},17$	2.193,03
Charpente et pilons	884,86	
A reporter		6.676,08

		francs
	Report.	9.676,08
§ 5. —	Courroies en cuir.	500,00
§ 6. —	Locomobile et pompe.	13.050,00
§ 7. —	Fontes diverses employées dans la construction.	5.435,00
§ 8. —	Bronze.	7,00
§ 9. —	Fers.	636,00
§ 10. —	Bâtiments.	2.021,56
§ 11. —	Parcs à minerai.	1.998,00
§ 12. —	Acquisition de terrain.	12.000,00
	Frais imprévus.	676,36
		46.000,00

MÉMOIRE

SUR LES

DIVERS MODES DE STRUCTURE DES ROCHES ÉRUPTIVES

ÉTUDIÉES AU MICROSCOPE AU MOYEN DE PLAQUES MINCES.

Par M. Michel LÉVY, ingénieur des mines.

L'usage du microscope, dans l'examen des roches éruptives, a profondément modifié quelques-unes des idées précédemment admises au sujet de leur structure intime, et singulièrement augmenté la somme de notions précises que nous possédons sur la nature et l'association des minéraux composants.

Les micrographes se sont d'abord adressés aux roches réduites en poudre, et c'est un honneur pour la France de pouvoir citer au premier rang, parmi ces anciens travaux, le mémoire de Fleuriau de Bellevue (1) *sur les cristaux microscopiques des laves*, et celui de Cordier (2) *sur les substances minérales dites en masse, qui entrent dans la composition des roches volcaniques de tous les âges*. Le procédé même d'analyse employé par Cordier excluait toute recherche sur la structure intime des pâtes de composition multiple; mais il a conduit à des découvertes minéralogiques importantes.

L'étude des inclusions solides, liquides et gazeuses, si abondantes dans un grand nombre de subsances cristallisées et notamment dans les gemmes, vint ensuite confirmer

---

(1) *Journal de physique*, LI, 459, 1800.

(2) *Mémoire sur les substances minérales dites en masse*, etc., lu à l'Académie royale des sciences, dans les séances des 16 et 30 octobre et 6 novembre 1815.

la puissance du microscope : Sir D. Brewster (1813-1835), William Nicol (1828), M. H. Clifton Sorby (1) (1848), ont poussé à un haut point de perfection ces investigations spéciales, dont les résultats inattendus prennent de jour en jour une signification plus importante (2).

Cependant l'étude des particularités microscopiques de chaque espèce minérale se poursuivait patiemment, grâce aux monographies de MM. G. Rose, Th. Scheerer, Des Cloizeaux, vom Rath, Tschermak, Zirkel, Laspeyres, E. Weiss, Kenngott, Rosenbusch, Streng, Doelter, Möhl, Stelzner, etc. On était parvenu à réduire les roches les plus dures, comme aussi les plus friables, en plaques minces transparentes, d'une épaisseur moyenne de $0^{mm},025$ à $0^{mm},005$, sur une surface dépassant souvent un centimètre carré (3).

Désormais l'examen microscopique des roches pouvait porter sur les plus petits détails de structure sans en altérer les minutieuses particularités. Grâce à l'emploi du microscope polarisant, on disposait d'un délicat procédé d'analyse, séparant des pâtes amorphes les substances cristallisées, et permettant le plus souvent de déterminer la nature minéralogique de chaque cristal.

Aussi, dès lors, les travaux importants, relatifs aux structures des roches, se succèdent rapidement : MM. Zirkel (4), Vogelsang (5), Rosenbusch (6) et tout récemment M. von

(1) On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. — *Quart. Journ. of the geolog. Soc.*, London, novembre 1858, XIV, 453.

(2) M. Zirkel considère les inclusions comme caractéristiques, sous leurs divers aspects, des divers âges des roches.

(3) Witham avait, dès 1833, employé ce procédé pour l'étude des bois fossiles; M. Sorby l'appliqua avec succès aux roches en 1850.

(4) *Lehrbuch der Petrographie*, Bonn, 1866. — *Die Mikrosk. Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, Leipzig, 1873.

(5) *Philosophie der Geologie*, Bonn, 1867.

(6) *Mikrosk. Physiographie*, etc., Stuttgart, 1873.

Lasaulx (1), dans des ouvrages classiques ou qui le deviendront, ont résumé leurs propres découvertes et celles des savants qui cultivent la nouvelle science. Dans un récent travail, M. Fouqué (2) fait ressortir l'importance de ce mouvement scientifique en Allemagne et en Autriche, et le nombre croissant des chaires de pétrographie microscopique fondées dans la plupart des universités d'outre-Rhin et même dans celle de Strasbourg.

Chaque année, des thèses de doctorat remarquables (3) nous viennent de ces foyers scientifiques et témoignent des fortes études qu'ils comportent.

Les instituts géologiques complètent leurs publications par la monographie des principales roches du pays, accompagnée de dessins représentant leurs plaques minces, vues à divers grossissements (4). Désormais la pétrographie possède des moyens d'observation, de description et de discussion aussi délicats que la paléontologie ; car les dessins qui représentent les différentes roches en sont caractéristiques et peuvent atteindre, grâce aux procédés de gravure héliographique, à une finesse extrême.

Les récentes études se sont d'abord attaquées aux roches volcaniques et basiques qui ont donné une riche moisson de faits nouveaux, et dont la composition minéralogique s'est montrée plus variée que ne le faisaient supposer l'examen à l'œil nu et l'analyse chimique.

Les pechsteins ont aussi attiré l'attention des auteurs

(1) *Elemente der Petrographie*, Bonn, 1875.

(2) *Revue scientifique*, 20 février 1875, 805.

(3) Haarmann, *Sur les mélaphyres*, 1872. — Baranowski, *Sur les granit-porphyres*, 1873. — Kalkowsky, *Sur les pechsteins et les felsit-porphyres*, 1874.

(4) On peut citer, comme modèle de ces récentes publications, les études de M. Boricky sur les basaltes et les phonolites de la Bohême, Prag, 1870-1874. — M. Rosenbusch concourt à un travail d'ensemble sur l'Alsace-Lorraine, dont le premier fascicule a déjà paru, Strasbourg, 1875.

Vogelsang (1) a fait, au sujet des corps microscopiques en forme d'étoiles, contenus dans certains verres à vitres, une remarque des plus curieuses et fort instructive : quelle que soit l'origine de ces étoilements, souvent tout à fait réguliers, et auxquels on peut comparer les fines herborisations de la glace sur les vitres, il est vraisemblable qu'ils sont contemporains du refroidissement du magma vitreux : or, ces étoilements présentent des phénomènes de rupture, tout comme les anciens cristaux des roches ; certaines de leurs branches sont cassées et l'on en voit les débris disloqués encore à portée de leur place primitive. Vogelsang considère comme très-probable que la masse était encore à l'état pâteux lors de la formation des étoilements, et que les phénomènes de rupture datent du soufflage du manchon de verre.

Ce curieux exemple nous montre que la formation de certains cristaux anciens peut être très-voisine de la consolidation définitive de la roche ; mais les phénomènes d'usure et de corrosion donnent à penser que, le plus souvent, l'existence des cristaux en débris date de plus loin et que les roches les amènent toutes formées dans les fractures par lesquelles elles s'épanchent.

L'étude des circonstances dans lesquelles se forment les roches dites euritiques se lie intimement aux considérations précédentes ; il convient de distinguer deux espèces de roches euritiques, celles où les cristaux en débris sont très-petits et très-divisés, et celles où les éléments mêmes du magma s'atténuent de plus en plus.

Le premier genre d'eurites peut seul être étudié à l'œil nu, et c'est à lui que se rapportent les observations de M. Delesse sur la liaison qui existe entre les conditions de gisement et la grosseur du grain des roches : nous les résumerons en disant que ce genre d'eurites se présente fréquemment sur les bords des dykes et des épanchements

(1) *Sur les cristallites*, arch. néerlandaises, t. VII, 42, 1872.

de roches éruptives, ou encore quand leurs filons s'amincissent au delà d'une certaine limite.

L'examen microscopique montre que l'état euritique des cristaux en débris va rarement sans celui de la pâte elle-même; mais la réciproque n'est pas vraie et cette dernière structure existe souvent sans la première. Les débris cristallisés des eurites se montrent sous le microscope très-brisés et comme poussés en désordre les uns contre les autres (1); ils paraissent avoir subi des actions mécaniques très-intenses qui cadrent bien avec l'apparence rubanée de plusieurs de ces roches. N'y a-t-il pas là un simple phénomène de frottement dû au voisinage des parois encaissantes, et dans le cas des épanchements en masse, une sorte de préparation mécanique qui entraîne sur les bords, c'est-à-dire au plus loin, les fragments les plus petits? En tous cas l'appellation d'eurite ne doit pas être étendue à toute une formation, car il est constant que toutes les roches, dans certaines circonstances, présentent des variétés euritiques.

De Buch et ensuite Darwin (2) avaient déjà observé que, dans certains courants de laves, les cristaux volumineux gagnent le fond, et y forment un véritable précipité. M. Stoppani (3) remarque que la finesse de certains granites, principalement dans les simples veines, doit être attribuée à un vrai broiement, causé par le frottement des parties venues toutes cristallisées, les unes contre les autres.

C'est à Spallanzani (4) qu'on doit la première notion de ce que nous avons appelé les cristaux anciens en débris; M. Poulet-Scrope (5) considère les laves comme venant au

---

(1) Filon mince de porphyre euritique de Crochat, près Limoges; eurites de la cascade, près Lormes (Nièvre), etc.

(2) *Volcanic Islands*, London, 1844, 117.

(3) Note sur la genèse des laves, *Bulletin de la Société géologique de France*, 2ᵉ série, t. XXVII, 159, 1869.

(4) *Viaggio alle due Sicilie*, II, cap. XI.

(5) *Les Volcans*, etc., Paris, 1864.

jour déjà granulées; enfin M. Stoppani (1) pose en principe qu'elles sortent des cratères toutes cristallisées et que leur mobilité est due en grande partie à la vapeur d'eau et à l'eau qu'elles contiennent à l'état sphéroïdal.

Il ajoute que la fusion ou la vitrification des laves est un état exceptionnel, produit par une perte d'eau, la température restant à un degré suffisant pour la fusion de la roche. Cette dernière assertion, qui ne tient pas compte de la nature des dissolvants, mais seulement de leur quantité, est inadmissible, comme nous le verrons plus loin : la forte teneur en eau des pechsteins et les inclusions vitreuses des cristaux en débris suffisent à la contredire.

Mais les observations de M. Stoppani, relatives à la consolidation de nombreux éléments cristallisés, avant l'épanchement des roches, ont été de tous points confirmées par les études microscopiques.

Pâte amorphe et magma cristallisé. — A côté des cristaux en débris et les englobant, se montre une pâte dont l'examen à l'œil nu ne permet pas une étude approfondie; cependant il suffit pour constater que dans certaines roches cette pâte a une structure vitreuse (pechsteins), et que dans certaines autres elle est entièrement composée d'éléments cristallisés (granites). Le point délicat est de déterminer les transitions entre ces deux états extrêmes; et l'étude de la pâte des porphyres a depuis longtemps exercé la sagacité des pétrographes.

Pour aborder cette étude, il convient de faire d'abord une distinction capitale entre les roches, suivant la teneur en silice de leur pâte, abstraction faite des cristaux en débris; si cette teneur dépasse celle des feldspaths acides, orthose ou albite, qui contiennent de 65 à 69 p. 100 de silice (2), il y aura excès de substance siliceuse dans la pâte et la roche sera dite *acide*.

(1) Genèse des laves, p. 204.

(2) Cette teneur est théorique; pratiquement nous relevons dans

Quand au contraire la teneur en silice descend notablement au-dessous de celle de l'orthose, nous considérons la roche comme ***basique;*** enfin nous apellerons ***intermédiaires*** celles qui n'appartiennent pas aux deux types extrêmes.

La structure microscopique des roches varie beaucoup suivant qu'elles appartiennent aux types acides, intermédiaires ou basiques, et il n'y a pas toujours une liaison bien intime entre la composition de la pâte et celle des cristaux en débris englobés : tel porphyre noir, très-riche en débris de quartz ancien, possède une pâte intermédiaire ; tel elvan euritique, sans quartz ancien apparent, est au contraire doué d'un magma très-acide. Les auteurs allemands ont cité dans ces dernières années nombre de diorites et même de diabases riches en débris de quartz. Ce fait d'observation confirme l'indépendance relative des deux éléments constituants des roches, telle qu'elle a été expliquée plus haut.

Lorsqu'une roche récemment épanchée se refroidit, certains corps tendent à s'isoler, à s'individualiser dans sa masse. Les auteurs allemands désignent ces actions sous le nom de dévitrification (*entglasung*) ; ils emploient indifféremment ce terme, soit qu'ils veuillent décrire une production contemporaine du refroidissement même de la roche, soit qu'ils fassent allusion à des actions secondaires postérieures.

La dévitrification du verre se dit des transformations qu'il subit par un lent réchauffage, ou encore par l'action prolongée des agents atmosphériques. Et d'abord les roches, dites vitreuses, contiennent en plus que le verre des matières volatiles, notamment pour les pechsteins les plus vitreux, une quantité extraordinaire d'eau de combinaison (jusqu'à 8 p. 100). En second lieu, le rôle des ac-

---

les nombreuses analyses, citées par MM. Des Cloizeaux et Dana, les limites suivantes : 63 à 70 p. 100.

tions secondaires dans la « dévitrification » des roches a été extrêmement exagéré ; le plus souvent il s'agit de phénomènes contemporains de la consolidation même de la pâte ; cette dernière ne peut donc avoir été dévitrifiée, puisqu'elle n'a jamais été vitreuse, mais fondue, et d'ailleurs en mélange intime avec une quantité de dissolvants et de minéralisateurs, vapeur d'eau, acide carbonique, carbures d'hydrogène, chlorures, etc., tous corps qui s'échappent encore à l'état gazeux de nos volcans modernes, et que contiennent aussi, par une remarquable coïncidence, les inclusions vacuolaires du quartz des anciennes roches.

Nous repoussons donc cette expression de dévitrification et nous proposons celle de *promorphisme*, qui nous paraît exprimer la production primitive des diverses formes que nous allons étudier.

Roches acides.

L'excès de silice qu'une roche acide apporte avec elle à l'état fluide, avant sa consolidation définitive, doit appeler notre attention sur les éléments minéralogiques que les forces de cristallisation tendront à isoler pendant le refroidissement de la masse. Ce seront les feldspaths les plus acides, albite, orthose ; quelquefois le mica blanc potassique, mais surtout et avec ces éléments complexes, les produits plus ou moins imparfaits de cristallisation de la silice : d'abord l'opale, substance gommeuse, souvent sans action sur la lumière polarisée ; puis la calcédoine et l'agate, mélange de quartz cristallisé et de silice amorphe ; enfin le quartz entièrement cristallisé.

Comme fait général d'observation, nous devons remarquer que le fer oxydulé, l'apatite, le mica noir magnésien, l'amphibole et même l'oligoclase, tous minéraux qu'on rencontre fréquemment dans les roches acides, ne s'y pré-

sentent qu'à l'état de cristaux anciens en débris ; les forces cristallines paraissent en avoir groupé les éléments bien avant la consolidation de la masse.

Nous allons aborder l'étude des diverses structures intimes que présentent les roches acides au microscope ; nous les répartirons en trois grandes classes : roches à pâte entièrement amorphe ; à magma semi-cristallin ; à magma entièrement cristallisé.

PREMIÈRE PARTIE.

PATE ENTIÈREMENT AMORPHE.

Les obsidiennes, les perlites et les pechsteins nous offrent, avec une grande similitude d'allures, des types accomplis de roches vitreuses, à pâte entièrement amorphe. Les cristaux anciens en débris n'y font pas défaut ; ils sont cependant assez rares, de petite dimension, vitreux et comme fendillés. On peut dire que, dans toute la série, la pâte est caractérisée par la structure fluidale.

CHAPITRE I.

STRUCTURE FLUIDALE.

C'est à M. Ch. E. Weiss (1) qu'est due la première description de cet état particulier qu'il a désigné sous le nom de phénomène de mouvement (Bewegungs-Phänomen).

Presqu'à la même époque, Vogelsang (2) en faisait une étude approfondie sous le nom de texture fluidale (Fluidal-Textur), et M. Zirkel (3) proposait le nom de texture de fluctuation (Fluctuations-Textur).

L'expression, adoptée par Vogelsang, a généralement prévalu ; il la définit, en lui donnant pour caractère une

---

(1) *Beiträge zur Kenntniss der Feldspath-Bildung*, Haarlem, 1866.
(2) *Philosophie der Geologie*, Bonn, 1867.
(3) *Zeitschft. d. d. Geol. Gesell.*, 742, 1867.

telle orientation des éléments d'une roche (éléments de couleur, de cristallinité, de densité, en un mot d'aspects différents), que soit leur ensemble, soit leurs plus petites subdivisions témoignent d'un mouvement d'écoulement relatif. Dans ce mouvement, les débris de cristaux anciens sont eux-mêmes orientés et entraînés; mais le plus souvent ils ont obéi moins vite à l'entraînement général que les fines particules charriées par la pâte, et cette dernière contourne les débris anciens, comme fait un fleuve des îlots qui encombrent son cours.

Certaines roches vitreuses sont tellement homogènes qu'il devient difficile d'en saisir la fluidalité; mais en général les actions promorphiques mettent en lumière cette remarquable structure, en colorant diversement les différentes zones fluidales.

CHAPITRE II.

STRUCTURE PERLITIQUE.

La fluidalité, dans les roches vitreuses, est très-généralement associée à de très-fines fissures, grossièrement concentriques et chevauchant irrégulièrement les unes sur les autres. On donne habituellement à cette structure pseudo-globulaire le nom d'une des roches (perlites) où elle se montre le plus développée.

Aux forts grossissements, on peut constater que les fissures perlitiques comportent une véritable solution de continuité, remplie par une matière stéatiteuse ou par d'autres corps étrangers.

Ces fissures sont habituellement inscrites entre d'autres cassures planes; la *fig.* 3, Pl. VIII, qui représente un pechstein du col de Grane près Fréjus (Var), en montre un bel exemple.

M Delesse (1), dans son mémoire sur les roches globu-

(1) *Mémoires de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV, 309, 1852.

leuses, a donné une intéressante description de la structure perlitique qu'il considère comme composée de globules testacés, entrelacés, mal déterminés. Le fait que ces globules sont tangents à des fissures rectilignes prouve, d'après M. Delesse, que leur formation est postérieure à un premier fendillement. Il remarque qu'ils coexistent, dans certaines pyromérides, avec les autres espèces de globules (Corse, Wuenheim, porphyre globuleux de Sibérie).

Il convient de mettre en garde contre la confusion qui pourrait résulter de ces différentes acceptions données au nom de *globule*, et de faire remarquer qu'il n'y a aucune analogie entre la structure globulaire proprement dite (sphérolitique), qui est le commencement d'un état cristallin, et la structure perlitique, qui n'est qu'un phénomène de retrait d'une masse vitreuse refroidie.

Quand les structures fluidale et perlitique coexistent, la seconde est postérieure à la première et en coupe nettement les diverses zones.

DEUXIÈME PARTIE.

MAGMA SEMI-CRISTALLIN.

CHAPITRE III.

STRUCTURE CRISTALLITIQUE.

Si l'on examine à un très-fort grossissement la pâte d'un grand nombre de roches vitreuses, on la trouve parsemée de petits corps allongés, tantôt isolés, tantôt groupés en étoilements plus ou moins réguliers.

M. Zirkel, qui les a décrits le premier (1), leur a donné le

---

(1) *Mikroskopische Gesteinsstudien. Académie des sciences de Vienne*, XLVII, 265, 1863.

nom de *trichites*, qui rappelle leur finesse plus que capillaire. Les auteurs allemands les décrivent comme généralement opaques; ceux qu'il nous a été donné d'examiner, notamment dans les pechsteins de Fréjus, se montrent transparents à un grossissement de 1.400 fois; plusieurs d'entre eux se résolvent en un chapelet de fins globules juxtaposés.

Grâce au remarquable mémoire de Vogelsang *sur les cristallites*, l'origine de ces singulières productions a été éclairée d'un jour inattendu.

Vogelsang appelle *globulites* les petites sphères isotropes qu'il considère comme la première manifestation des forces cristallines, tendant à individualiser une substance quelconque; nous avons vu précédemment que certains trichites se résolvent en globulites. Vogelsang est parvenu à voir naître, individuellement et en associations, des globulites de soufre (1) et de carbonate de chaux (2), sous le microscope.

Les globulites se rangent en ligne droite ou légèrement incurvée et forment ainsi des *margarites;* à un degré d'association plus élevé, les margarites se groupent en étoilements réguliers et forment des *cristallites;* enfin Vogelsang a vu des cristallites de soufre, par augmentations successives, produire de petites pyramides rhombiques et passer ainsi aux petits cristaux, limités par des faces polyédriques, auxquels il a donné le nom de *microlites.*

Il a comparé et assimilé, les uns aux autres, les cristallites du soufre, du carbonate de chaux, des dendrites de neige et de glace, des scories artificielles, des verres à vitres (3), des roches vitreuses naturelles.

---

(1) *Sur les cristallites, l. c.*

(2) Cs. Harting, *Bulletin des sciences physiques et naturelles de Néerlande*, 257, 1840.

(3) Nous devons à l'obligeance de M. Friedel, conservateur adjoint de la collection de minéralogie de l'École des mines, de

Les globulites isolés sont sans action sur la lumière polarisée; certains cristallites s'illuminent légèrement sous les Nicols croisés. Autour des cristallites étoilés hexagonaux des fonds de creusets de verrerie, se montre un bourrelet marginal, constitué par une multitude de globulites élémentaires, à la périphérie duquel les Nicols croisés produisent des lueurs blanchâtres avec croix noire, située dans les plans principaux des Nicols.

Comme Vogelsang ajoute (1) qu'il ne connaît pas d'autres produits analogues présentant de pareilles actions de polarisation exogène, nous croyons utile de mentionner ici que nous avons observé des phénomènes analogues dans les scories des creusets de fusion de l'aciérie d'Ermont (Seine-et-Oise); ces scories, criblées de petits globules d'acier fondu, se comportent à la lumière polarisée comme un verre absolument homogène; mais autour de chaque globule métallique, se trouve une zone qui s'illumine sous les Nicols croisés, et qui donne en outre la croix noire propre aux sphérolites. C'est vraisemblablement à des phénomènes de compression et de retrait relatif qu'on doit rapporter ces curieuses apparences.

Les expériences et les observations de Vogelsang ont donné un fondement sérieux à l'opinion qui considère la structure cristallitique comme le commencement des phénomènes de cristallisation des pâtes amorphes.

CHAPITRE IV.

STRUCTURE MICROLITIQUE.

C'est à M. Zirkel que l'on doit la première observation du développement de très-petites formes cristallines de

---

beaux échantillons de pyroxène artificiel, développé dans les fonds de creusets de verrerie. Les cristaux de pyroxène des laitiers de hauts fourneaux se présentent souvent aussi dans un état cristallitique remarquable.

(1) *Sur les cristallites*, *l. c.*, 52.

nature minéralogique mal déterminée, dans la pâte des roches vitreuses (1); il leur a donné le nom de *bélonites* à cause de leur forme habituellement allongée, et il a fait remarquer qu'on obtient artificiellement des productions analogues, en attaquant les lamelles de certains pechsteins par l'acide fluorhydrique à chaud.

C'est à Vogelsang que l'on doit le nom de *microlite*, qui paraît définitivement adopté (2).

Nous avons vu plus haut que les microlites paraissent dériver des cristallites par accroissements successifs: la lumière polarisée a souvent une action bien nette sur ces petits corps, dont la forme cristalline est aussi parfois très-reconnaissable. Les minéraux qui se montrent le plus fréquemment sous forme de microlites, sont l'apatite, le quartz, le feldspath (3), le pyroxène.

La structure microlitique s'allie fréquemment à la fluidalité; lorsque les microlites sont allongés, on les voit orientés et alignés d'une façon saisissante; il est remarquable que la production des microlites paraisse antérieure à celle de la structure fluidale, et on les voit dans plusieurs cas se rapprocher par certains caractères des anciens cristaux en débris.

CHAPITRE V.

STRUCTURE SPHÉROLITIQUE, AVEC PÉTROSILEX ET GLOBULES IMPRÉGNÉS DE SILICE EN PARTIE AMORPHE.

A. — Perlites, pechsteins et pyromérides.

Nous caractériserons ce genre de promorphisme en

(1) *Mikrosk. Gesteinsstudien, l. c.*, 255.
Mikrosk. Untersuchungen über die glasigen und halbglasigen Gesteine, Ztschft. d. d. geol. Gesell., XIX, 788, 1867.

(2) *Philosophie der Geologie, l. c.*, 139.

(3) M. Fouqué a récemment découvert une méthode d'analyse médiate des roches, qui lui a permis de déterminer la composition chimique des microlites des laves de Santorin (*Sav. étrangers*, t. XXII, n° 11). Cette méthode n'est pas applicable aux microlites de très-petite dimension.

remarquant qu'il constitue un commencement de séparation et de cristallisation de la silice en excès, mêlée aux éléments du feldspath dans la pâte des roches acides; l'élément feldspathique paraît relégué d'abord au second plan; ce sont les caractères de cristallinité de la silice (opale, calcédoine) qui dominent, et l'élément feldspathique semble à l'état de simple mélange mécanique.

Nous rappellerons sommairement que l'opale (1) (densité : 1,90 à 2,30) se comporte optiquement comme une matière gommeuse, ayant une grande tendance à former des globules, doués d'une tension inégale du centre à la périphérie; elle est souvent chatoyante, et cette propriété paraît subsister encore lorsque l'opale est mélangée à d'autres substances.

La calcédoine est un mélange intime de silice amorphe et cristallisée; elle forme volontiers des sphérolites très-réguliers, à double texture concentrique et radiée, qui ne sont d'ailleurs qu'une des manifestations de sa tendance aux concrétions.

On sait quels sont les caractères optiques des globules dont la densité varie symétriquement du centre à la circonférence : sous les Nicols croisés, on y observe une croix noire dont les branches sont situées dans les plans principaux des Nicols. Si l'on tourne un des prismes, la croix se déplace avec une vitesse de rotation deux fois plus faible; si l'on tourne la plaque, la croix reste immobile et son ombre parcourt ainsi successivement toutes les parties du sphérolite.

M. Groth (2) a cru devoir attribuer ces phénomènes à de petits cristaux doublement réfringents, noyés dans une pâte amorphe, et dont un axe optique serait dirigé paral-

(1) Sur les diverses espèces d'opale, voir Behrens, Académie des sciences de Vienne, LXIV, décembre 1871.

(2) Cs. Stelzner, *Petrographische Bemerkungen über Gesteine des Altaï*, Leipzig, 1871.

lélement ou perpendiculairement au rayon du sphérolite qui passe par chacun d'eux; une pareille orientation suppose que cet axe optique coïncide avec un axe de symétrie des petits cristaux entraînés dans les zones successives de concrétion; et c'est en effet le cas du quartz. Mais il nous suffira de rappeler que le cristallin de l'œil de certains poissons et le verre comprimé (p. 351) présentent les mêmes phénomènes, pour mettre en garde contre ce que l'hypothèse précédente pourrait avoir de trop général.

Les cinq structures déjà énumérées peuvent être étudiées dans leurs combinaisons réciproques, à propos du promorphisme des roches vitreuses et notamment des pechsteins; nous allons discuter l'ordre de production des textures, que MM. Zirkel (1), vom Rath (2), Vogelsang (3), von Lasaulx (4), et tout récemment Kalkowsky (5) ont rapportées à des phénomènes de dévitrification.

Combinaisons des divers modes de promorphisme des roches vitreuses.

Structure fluidale et granulations opaques. — Toutes les roches vitreuses se chargent, par places, de grains opaques d'une couleur brune, jaune ou rouge et de grosseur variable, que l'on rapporte habituellement aux différents oxydes de fer; ce fin pointillé s'aligne en chapelets, dessinant les diverses zones de la fluidalité, et l'on voit nettement la pâte vitreuse se colorer en brun plus ou moins foncé, au voisinage de ces traînées, et se décolorer dans leur intervalle.

Un grand nombre de pechsteins sont composés de plu-

---

(1) *Ueber die glasigen und halbglasigen Gesteine*, *l. c.*

(2) *Geogn. Mittheilungen über die Euganäischen Berge*, *Ztschft. d. d. geol. Gesell*, XVI, 461, 1864.

(3) *Philosophie der Geologie.*

(4) Roches de l'Auvergne, *l. c.*

(5) *Mikroskopische Untersuchungen von Felsiten und Pechsteinen Sachsens*, Wien, 1874.

sieurs pâtes vitreuses d'un grain et d'une couleur variés; la fluidalité de chacune d'elles ne paraît pas correspondre avec celle de la voisine, de telle sorte que l'aspect général est celui d'une brèche à éléments très-menus, dont les diverses pâtes englobent indifféremment les anciens cristaux en débris.

Les porphyres violets d'Hérival (val d'Ajol), dont la pâte s'éteint presque entièrement sous les Nicols croisés, présentent un bel exemple de brèches analogues, et à part leur couleur et leur cassure trachytique, ils rappellent beaucoup au microscope la structure de certains pechsteins de la Saxe (Spechtshausen, etc.); la *fig.* 1, Pl. VIII, représente fidèlement leur apparence à la fois fluidale et bréchiforme.

La plupart des auteurs allemands ont considéré les granulations opaques comme produites aux dépens de la pâte vitreuse primitive par des actions secondaires, dont les canaux naturels auraient été les zones mêmes de la fluidalité.

Pour nous, au contraire, ces granulations sont promorphiques, dans le plus grand nombre des cas, et nous ferons observer que cette hypothèse s'accorde mieux avec l'état bréchiforme d'un grand nombre de pechsteins : ou les actions secondaires sont antérieures à la formation de la brèche, c'est-à-dire à la consolidation définitive de la roche, et alors on ne peut leur conserver leur nom; ou elles sont postérieures à cette consolidation, et l'on s'explique difficilement comment elles ont pu donner un aspect si constant à chacun des différents verres qui composent la brèche et dont les débris sont isolés les uns des autres.

Plusieurs des faits décrits par Vogelsang (1), notamment l'accumulation relative de ces granulations sur certaines faces des cristaux anciens en débris, du côté des remous de la fluidalité, semblent même témoigner qu'elles sont antérieures au mouvement fluidal.

(1) *Philosophie der Geologie*, *l. c.*, 152.

Rappelons enfin que les cristaux de fer oxydulé sont même antérieurs à tous les anciens débris qui les englobent fréquemment ; ce dernier fait prouve que certains produits d'oxydation du fer ont dû nager dans la pâte fondue des roches, bien avant leur épanchement.

Structures fluidale, perlitique et cristallitique. — Nous avons vu que, dans les produits d'art, et notamment dans le verre à vitres, les cristallites se développent au milieu d'un magma encore pâteux et susceptible d'étirements postérieurs. L'examen des roches vitreuses naturelles confirme cet aperçu ; le développement des microlites paraît généralement antérieur à la structure fluidale ; les cristallites sont coupés par les fissures perlitiques.

Nous nous trouvons donc encore ici en présence de phénomènes contemporains de l'épanchement de la roche, antérieurs à son refroidissement définitif..

Structures pétrosiliceuse et perlitique. — L'étude microscopique des pechsteins de Fréjus et d'un certain nombre de pyromérides nous a permis d'étudier les relations qui existent entre les structures perlitique et pétrosiliceuse ; la première est postérieure à la seconde ; ses fissures ne sont jamais interrompues par les traînées ou les globules pétrosiliceux ; tout au contraire, elles leur sont régulièrement tangentes.

Ce fait nous paraît confirmer l'opinion des auteurs qui considèrent la matière pétrosiliceuse ou sphérolitique comme primordiale, et qui ont pour principaux contradicteurs Vogelsang, MM. Stelzner et Rosenbusch (1). Une des premières raisons invoquées par les partisans (2) des actions secondaires, est la présence d'inclusions vitreuses bien conservées dans les quartz anciens des pechsteins et des porphyres pétrosiliceux ; ce seraient des témoins d'un état primiti-

(1) *Mikrosk. Physiographie*, 130.
(2) Cs. Kalkowsky, porphyres de la Saxe, *l. c.*, 53.

vement vitreux de la pâte, qui, protégés par leur enveloppe quartzeuze, auraient ainsi bravé les modifications ultérieures subies par cette pâte.

La matière amorphe et transparente qui remplit souvent les inclusions des cristaux anciens de quartz, témoigne en effet de l'état fondu et homogène de la roche, au moment où les cristaux anciens se formaient ; cette matière a vraisemblablement conservé les éléments volatils que le reste de la pâte a perdus lors de son épanchement, tandis que les inclusions des anciens cristaux de feldspath laissaient aussi (dans les roches anciennes surtout) filtrer leurs dissolvants à travers les plans de clivage de ce minéral perméable. Ainsi nous admettons une circulation de fluides du dedans au dehors ; mais rien ne nous autorise à supposer des actions secondaires, s'exerçant du dehors au dedans. L'étude des inclusions recule la période pendant laquelle les cristaux anciens se sont consolidés, et confirme l'hypothèse que les roches éruptives ont apporté les éléments de leur structure, pour ainsi dire, en puissance avec elles.

Structures pétrosiliceuse et fluidale. — Une autre confirmation ressort des relations réciproques des structures fluidale et pétrosiliceuse ; les traînées pétrosiliceuses (Mikrofelsit des Allemands) participent très-généralement au mouvement de fluidalité générale, et même lorsqu'elles se résolvent en sphérolites isolés, ces derniers s'alignent (1) encore suivant la même direction. Souvent la fluidalité n'est marquée que dans les zones pétrosiliceuses ou sphérolitiques (2), et ces dernières sont noyées dans un restant de pâte vitreuse, dans laquelle la structure perlitique s'est seule développée. Il semble que l'état pâteux, favorable à la production de la structure fluidale, se soit produit simultanément avec la substance pétrosiliceuse.

(1) Pyromérides de Gargalong, près Fréjus, de Wuenheim, de Corse, etc.

(2) Pechsteins de Fréjus.

Structures pétrosiliceuse, fluidale et microlitique; perlite de Hlinik. — Il est en général assez difficile de déterminer les relations qui existent entre les structures microlitique et pétrosiliceuse; cependant certains échantillons de la perlite de Hlinik (Hongrie) présentent avec une netteté suffisante la combinaison de ces deux structures, et en même temps une fluidalité très-développée.

On peut y distinguer (*fig.* 2, Pl. VIII), trois espèces de promorphisme pétrosiliceux, savoir :

a) De fines traînées entièrement parallèles au mouvement fluidal et qui ne se distinguent de la pâte vitreuse que par leur apparence très-légèrement nuageuse; elles ont une légère action sur la lumière polarisée, et présentent un chatoiement sur lequel nous insisterons plus loin.

b) Une substance, peu translucide, estompée en brun foncé et nettement séparée de la pâte ; sa direction générale est aussi celle de la fluidalité, mais elle paraît y avoir obéi moins docilement que les traînées précédentes, et ses lambeaux, souvent discontinus, ont des formes très-irrégulières.

c) Enfin des sphérolites, nettement radiés, qui semblent postérieurs aux lambeaux précédents, sur lequels ils paraissent souvent se mouler.

Nous étudierons surtout ici les relations que présentent dans ces roches les structures microlitique, pétrosiliceuse et fluidale.

M. Zirkel (1) a signalé l'abondance extraordinaire de petites productions microlitiques qui se développent dans leur pâte vitreuse ; il a nettement décrit là belle structure fluidale par microlites qui en résulte, et il ajoute « qu'autour des petits sphérolites, les courants de bélonites se divisent visiblement en deux bras pour les contourner ».

(1) *Mikroskop. Beschaffenheit, l. c.*, 367.
Cs. Szabò, *Trachyte und Rhyolithe der Umgebung von Tokay. Jahrb. d. geolog. Reichsanstaltes*, 89, 1866.

Les échantillons que nous possédons des roches de Hlinik, ne nous ont pas présenté des apparences aussi simples, d'où l'on déduirait la postériorité de la structure fluidale au promorphisme pétrosiliceux.

A un grossissement de 250 fois, les microlites allongés et rectangulaires se distinguent aisément ; nous les avons vus nettement pénétrer dans les traînées et dans les sphérolites pétrosiliceux, sans déviation sensible. Ce fait est surtout frappant dans les sphérolites, dont la structure radiale se décompose aux forts grossissements en petits corpuscules allongés et sinueux, qui se distinguent facilement des microlites et en coupent la direction successivement sous tous les angles.

Il ne nous a pas paru que les microlites fussent même influencés, malgré leur petite taille (en moyenne $0^{mm},018$ de longueur, sur $0^{mm},002$ de largeur), par la structure radiale ou concrétionnée de la substance pétrosiliceuse ; cette structure est donc due à des mouvements moléculaires, dont la petitesse est négligeable par rapport à la masse de chaque microlite ; car nous ne doutons pas que la formation des microlites ne soit ici antérieure à celle de la substance pétrosiliceuse.

Un autre fait important à retenir, est que les mêmes microlites ont obéi au mouvement fluidal aussi bien dans les sphérolites que dans la pâte vitreuse ; la matière pétrosiliceuse, ou du moins les éléments qu'elle englobe, ont donc été entraînés et orientés par ce mouvement, et sa contraction définitive aussi bien que les formes extérieures souvent globuleuses qu'elle affecte, sont postérieures à la fluidalité. D'autre part, il nous paraît impossible d'admettre que le promorphisme pétrosiliceux n'avait pas pris naissance avant la fin du mouvement fluidal; car certains lambeaux pétrosiliceux sont à la fois entraînés dans leur ensemble et disloqués par places ; on peut même saisir dans les courants

microlitiques de légers remous le long des parties pétrosiliceuses disloquées.

Tout se passe donc, dans les perlites de Hlinik, comme si le promorphisme pétrosiliceux était un phénomène franchement postérieur à la formation des microlites, et contemporain, pour une partie de ses phases, de la fluidalité.

Actions secondaires et agents du métamorphisme. — On voit que nous n'admettons pas l'opinion de Vogelsang et de M. Stelzner, qui considèrent tous les porphyres comme des pechsteins dévitrifiés.

Il est intéressant de rapprocher cette idée théorique des opinions, en apparence opposées, que M. Delesse a développées au sujet du métamorphisme général (1). La structure cristalline des roches est, pour lui, le résultat des actions métamorphiques ; sous leur influence, les substances composantes passent de l'état amorphe à l'état cristallin. Les roches plutoniques sont l'effet et non la cause du métamorphisme général ; cette cause réside dans les agents qu'on rencontre, quand on pénètre à l'intérieur de la terre, c'est-à-dire la chaleur, l'eau, la pression et surtout les actions moléculaires. Si le métamorphisme est très-intense, il engendre à la fois des roches métamorphiques et plutoniques. Ces dernières, jouissant d'une plasticité plus grande, se comportent très-souvent comme des roches éruptives, et cessant d'être en contact avec les roches métamorphiques qui leur correspondent, elles remplissent, à l'état de filons ou de massifs, les fissures et les crevasses de l'écorce terrestre (2).

Dans notre opinion, si les actions métamorphiques, suffisantes pour amener de pareils résultats, s'exercent seulement au contact du noyau fondu du globe ou dans son voisinage immédiat, nous retombons dans les théories géo-

(1) *Études sur le métamorphisme des roches*, Paris, 1869.
(2) *L. c.*, p. 89.

géniques de l'école plutonienne, adoptées par Élie de Beaumont, et vérifiées par les expériences synthétiques de M. Daubrée sur les roches à péridot ; la généralité même du phénomène ainsi que l'uniformité qu'il doit présenter suivant des zones concentriques, concordent avec les faits observés ; il doit y avoir en effet mélange des écumes d'oxydation du noyau fondu du globe avec les roches déjà consolidées qui leur servent de voussoirs, et qui peuvent se redissoudre partiellement; mais les couches successives de ce mélange fondu doivent se disposer suivant leur ordre de densité, et leur composition chimique doit être fonction des dissolvants qui les traversent constamment, amenant à la partie supérieure les composés volatils du silicium, et présidant sans doute à la formation des cristaux anciens en débris.

Au contraire, les partisans des causes actuelles cherchent à greffer sur le métamorphisme général une théorie qui prête une sorte de vie aux roches, et qui fait, par exemple, du granite un trachyte lentement vieilli et métamorphisé. Les uns, faisant abstraction des conditions si différentes de gisement d'une roche de même âge géologique, admettent que les actions métamorphiques ont produit un résultat identique sur toutes les roches contemporaines et jadis de même nature ; leurs changements ne seraient donc fonction que du temps pendant lequel le métamorphisme se serait exercé. Les autres n'admettent pas que deux roches identiques (1) soient nécessairement de même âge ; cepen-

---

(1) M. Delesse rejette explicitement cette identité en déclarant « qu'une même roche a pu faire éruption à des époques différentes ». (*Recherches sur l'origine des roches, Bulletin de la Société géologique de France,* 2[e] série, t. XV, 728, 1858.)

L'étude de la *Constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges* avait cependant conduit M. Delesse à exprimer une opinion différente : « Des roches ayant même composition chimique et formées de minéraux identiques, associés de la même manière, sont du même âge. » (*Mémoires de la Société d'émulation du Doubs*, Besançon, 15, 1847.)

dant un grand nombre d'observations semblent prouver cette relation.

Quoi qu'il en soit, les *causes* du métamorphisme général nous paraissent de même essence que les *actions secondaires* des auteurs allemands ; elles supposent des modifications lentes et prolongées. Nous pensons, au contraire, que les actions promorphiques, qui s'expliquent par des variations, non-seulement dans la quantité, mais aussi dans la qualité des dissolvants, ont eu, au point de vue de la structure des roches éruptives, un effet très-prédominant; en tout état de cause, les faits géogéniques que nous considérons comme acquis sont les suivants :

1° Les inclusions vitreuses des anciens cristaux en débris prouvent que la pâte de la plupart des roches éruptives(1) était fondue et homogène avant leur épanchement.

2° Un grand nombre de roches présente des structures promorphiques, c'est-à-dire contemporaines de leur refroidissement et antérieures à leur consolidation définitive, notamment à la production des fissures perlitiques.

Exemples tirés des pechsteins des environs de Fréjus. — Les pechsteins des environs de Fréjus présentent de beaux exemples des diverses structures sommairement décrites jusqu'à présent.

1° On y trouve des variétés d'un noir bleuâtre, contenant à peine quelques débris de quartz et de sanidine, et traversées par de fines fissures remplies d'une matière rosée.

Au microscope, ces roches franchement résineuses présentent la double texture fluidale et perlitique ; la fluidalité est irrégulièrement jalonnée par de très-petits granules opaques, disposés en chapelet; entre deux traînées voisines, la pâte vitreuse, d'un brun foncé, se décolore sensiblement.

(1) Certaines *granulites* présentent déjà des inclusions vitreuses : les feldspaths eux-mêmes des prétendus granites tertiaires de l'île d'Elbe en sont remplis.

La matière qui remplit les fissures perlitiques est jaunâtre par transparence.

Sous les Nicols croisés, cette matière stéatiteuse s'illumine faiblement, la pâte s'éteint complétement; elle ne contient ni cristallites ni microlites.

2° D'autres pechsteins de même provenance ont une cassure moins vitreuse, avec reflets variés, verts, bruns, rouges. Au microscope, la structure fluidale fait défaut; on peut voir par la *fig.* 3, Pl. VIII, combien la structure perlitique est développée. Elle est comme dessinée par une substance grumeleuse, verte par transparence, qui semble avoir coulé dans les canaux perlitiques et y montre des stries longitudinales; la même matière forme dans la pâte des noyaux indépendants et même des disques grossièrement circulaires, qu'un fort grossissement décompose en un amas de globulites. Elle a, par place, une faible action sur la lumière polarisée.

A cette substance verte, vraisemblablement due à de véritables actions secondaires, se juxtaposent de fines granulations d'un rouge vif, qui salissent la pâte entre les canaux perlitiques; elles s'accumulent aussi sur les bords de ces cassures, laissant la matière verte en remplir l'intérieur.

Dans les parties limpides de la pâte, on perçoit aux forts grossissements (1.400 diamètres) une multitude de productions cristallitiques, qui peuvent se ranger sous quatre espèces :

a) Un grand nombre de trichites se résolvent en globulites juxtaposés. Tantôt les petites sphères (1) sont simplement tangentes, tantôt elles s'étirent suivant la longueur de l'ensemble, et se fondent l'une dans l'autre, à la façon de certaines cellules végétales. Quelques-unes montrent

(1) Leur diamètre est variable et oscille entre $0^{mm},0005$ et $0^{mm},0015$.

une double paroi et sont fortement ombrées à l'intérieur, comme si elles étaient vides.

b) Plusieurs trichites ne se résolvent pas en éléments plus petits, et forment de longs poils aigus, transparents, d'un bleu clair.

c) A côté de ces productions allongées, on rencontre plus rarement quelques disques circulaires, également transparents, d'un vert très-pâle ; ils sont tantôt homogènes, tantôt doués d'un double noyau plus foncé, en forme de deux demi-cercles juxtaposés par leurs diamètres. Ces petites productions rappellent beaucoup certains cristallites du carbonate de chaux (1), et appartiennent vraisemblement à la substance verte stéatiteuse des fissures perlitiques.

d) Enfin on trouve par places quelques petits microlites plus longs que larges, à pointements surbaissés, qui se groupent assez irrégulièrement autour de noyaux anguleux d'un noir opaque.

3° Le même gisement présente des variétés dans lesquelles le protomorphisme est beaucoup plus développé ; la *fig.* 6, Pl. IX, représente l'une d'elles (2) dont la pâte, par sa couleur et sa cassure, rappelle entièrement le jaspe sanguin.

L'analogie se poursuit au microscope ; la pâte s'y montre nettement concrétionnée et rougie, suivant des zones de coloration variable par un pointillé de fines granulations. Elle ne s'éteint que partiellement sous les Nicols croisés, et paraît alors semée de points brillants, que la rotation de la plaque déplace, sans altérer l'éclairement général : on a donc affaire à une ***polarisation d'agrégat***, comme la calcédoine en présente fréquemment. On remarquera que les cristaux en débris, de petite taille, sont ici très-nombreux

(1) Vogelsang, *Sur les cristallites*, *l. c.*, Pl. IV et V.

(2) Nous devons cet échantillon à l'obligeance de M. Potier, ingénieur des mines, qui l'a recueilli au voisinage des pechsteins.

et assez uniformément répartis ; ils se composent de quartz et de sanidine. Plusieurs de ces cristaux présentent, par réflexion, une belle couleur bleue ou azurée, chatoyante, comme la sanidine des porphyres bruns de Lugano (1). Cette illumination est produite par la réflexion de la lumière suivant une seule direction ; elle n'est pas inégale comme les reflets de l'opale, et se conserve intégralement dans les plaques minces.

Un examen attentif permet de la rapporter aux cristaux de sanidine à l'exclusion de ceux de quartz, bien que la substance chatoyante ne paraisse pas toujours se cliver sous le coup de marteau. En effet, au microscope, elle est traversée par de nombreux plans de clivage qu'un grossissement de 1.400 fois décompose en petits corpuscules. opaques, allongés, sinueux ; sur les bords des cristaux en débris, les plans dans lesquels ces corpuscules se disposent, sont très-rapprochés. Bien que presque tous les cristaux de sanidine soient chatoyants, ces très-petits corpuscules sont le seul caractère constant qu'ils présentent ; on ne peut donc attribuer ici, non plus qu'à Lugano, ce reflet à de petites lamelles de fer oligiste, comme on l'a fait dans plusieurs cas analogues (2).

La sanidine, d'ailleurs très-pure, contient en outre çà et là de belles inclusions vitreuses, déjà visibles à un grossissement de 250 fois, et de petites vacuoles sphériques allongées ou même capricieusement coudées. Le quartz contient un grand nombre d'inclusions liquides à bulles mobiles.

On remarquera dans cet exemple que, s'il fallait rapporter à des actions secondaires la transformation de la

---

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. II, 195, 1874. — Ce reflet chatoyant bleu des cristaux de sanidine paraît être assez général dans les porphyres analogues (Siebenlehn, etc.).

(2) Cs. Rosenbusch, *Mikrosk. Physiographie*, 333.

pâte vitreuse du pechstein en calcédoine concrétionnée, ces actions auraient eu un effet absolument insensible sur les cristaux de sanidine, cependant très-attaquables, et sur leurs inclusions vitreuses.

4° On trouve encore, près de Fréjus, d'autres variétés de pechsteins dans lesquels l'éclat résineux a presque entièrement disparu. La texture fluidale y est mise en évidence à l'œil nu par un lascis de veines pétrosiliceuses d'un brun clair, avec petites languettes brun foncé ou même rouge de cire, serpentant dans une pâte verdâtre pierreuse, dans laquelle des traînées d'une coloration verte plus claire dessinent aussi la fluidalité. Le tout est traversé par de petits filons de jaspe sanguin.

Au microscope, la roche se montre douée des trois structures fluidale, pétrosiliceuse et perlitique, et se divise en zones de composition différentes, comme la *fig.* 4, Pl. VIII, en fait foi :

a) On y distingue des zones incolores et transparentes, dans lesquelles les fissures perlitiques, remplies d'une substance stéatiteuse verdâtre, se sont largement développées. Ces zones rappellent entièrement les pechsteins vitreux de la *fig.* 3 ; aussi est-on surpris, sous les Nicols croisés, de les trouver complétement cristallisées : entre les fissures perlitiques, la pâte se décompose en une mosaïque de cristaux limpides, pressés les uns contre les autres, souvent terminés à ces fissures, et d'assez grande dimension ; la plupart de ces cristaux semblent être du quartz ; du moins ne présentent-ils aucune trace de clivages ; cependant les inclusions y sont rares, même aux plus forts grossissements.

b) La structure fluidale n'est pas visible dans ces zones entièrement cristallisées ; par contre, elle s'y juxtapose et se développe dans certaines portions du magma, qui ont été envahies par la matière verte grumeleuse, remplissant partout les fissures perlitiques ; cette substance, probablement stéatiteuse, y forme de petites et de grandes écailles

dans lesquelles les Nicols croisés dessinent des anneaux sombres grossièrement concentriques.

c) Enfin on observe, notamment dans la *fig.* 4, des traînées de substance pétrosiliceuse, qui suivent la fluidalité générale, en passant curieusement d'une zone à une autre avec de nombreuses anastomoses ; il semble que cette matière pétrosiliceuse était encore plastique pendant les derniers mouvements de la roche ; la fluidalité et les fissures perlitiques paraissent l'avoir disloquée par endroits, bien que ces dernières lui soient presque toujours tangentes.

Pour bien saisir la texture intime de la substance pétrosiliceuse, il faut la préserver de la lumière réfléchie, au moyen d'un écran convenablement placé ; elle paraît en effet douée d'une certaine opalescence brunâtre qui efface les rayons réfractés et leur donne un aspect nuageux. Par transparence, elle est nettement radiée et concrétionnée, surtout sur les bords de ses traînées, et elle présente même des globules entièrement rayonnés, comme les sphérolites des pyromérides. Cette apparence est surtout nette et générale dans toutes les traînées pétrosiliceuses, quand on emploie le microscope binoculaire, avec un grossissement de 250 fois, à la lumière d'une lampe. Aux Nicols croisés, l'extinction bien qu'avancée, n'est pas complète ; les sphérolites présentent le phénomène de la croix, les traînées s'estompent d'ombres et de parties plus claires, qui changent de place par la rotation d'un des prismes.

Les plus forts grossissements ne parviennent pas à isoler nettement les fines ponctuations de couleur brunâtre dont se compose la substance pétrosiliceuse ; on les voit seulement se condenser en rayons, ou suivant la fluidalité.

Nous avons retrouvé cette remarquable opalescence de la matière pétrosiliceuse dans les perlites de Hlinik et surtout dans celles du mont Dore (route de Murat) ; elle doit sans doute être rapportée à l'extrême division des particules individualisées dans le magma. La substance pétrosiliceuse

de plusieurs porphyres (1) fluidaux et sphérolitiques présente aussi quelques traces d'opalescence.

5° Nous avons déjà signalé dans nne note précédente (2) la curieuse analogie de la pâte qui englobe les sphérolites de la pyroméride de Gargalong (Var), avec celle des pechsteins voisins. La *fig*. 5, Pl. VIII, comparée aux *fig*. 3 et 4, montre qu'on ne peut guère douter de ce rapprochement, surtout si l'on ajoute qu'à la lumière naturelle, la couleur et l'aspect de la substance verte, qui remplit les fissures perlitiques, sont les mêmes dans les deux cas.

On peut très-bien voir à l'œil nu, dans cette belle roche globuleuse, que les sphérolites se groupent en général suivant une direction déterminée ; c'est une trace du mouvement fluidal.

Souvent incomplets et juxtaposés par parties inachevées, les sphérolites paraissent en outre avoir été quelque peu disloqués depuis leur consolidation ; ils englobent des cristaux anciens de quartz et de sanidine en débris, et sont moulés par l'excès de pâte dont nous avons parlé plus haut. Il est très-visible que les fissures perlitiques sont postérieures aux sphérolites ; comme nous l'avons déjà fait remarquer, elles leur sont tangentes, et quand la place manque, elles se dévient pour se compléter.

Les fines granulations brunes qui dessinent la structure radiale des globules, se concentrent sensiblement à la périphérie de chaque zone circulaire d'accroissement

Les fentes de retrait qui séparent les accroissements concentriques d'un même globule, et les fines fissures qui

---

(1) La pâte du porphyre blanc de la carrière de Mont-Chérus, près Montreuillon, présente un bel exemple de ce phénomène; elle est remplie de petits sphérolites à croix noires, très-bien formés, à côté desquels se développe une substance pétrosiliceuse opalescente. Les eurites de la Selle, près Autun, forment des micro-pyromérides douées de caractères analogues.

(2) *Caractères microscopiques des roches acides anciennes*, *l. c.*, p. 223.

le traversent, sont remplies de calcédoine ; les sphérolites sont d'ailleurs accolés à des veines d'agate herborisée.

Sous les Nicols croisés, l'agate se pare de brillantes couleurs et se montre semée de petites croix multicolores ; la calcédoine se remplit de petits points brillants et prend une teinte générale d'un gris bleuâtre ; la matière finement radiée et ponctuée des globules s'ombre en forme de houppes chevauchant les unes sur les autres. Quant à la pâte, qui englobe les sphérolites, elle est traversée par une multitude de veinules de calcédoine, souvent accolées aux fissures perlitiques ; c'est une pâte analogue à celle du pechstein précédent, quoique plus finement grenue.

On voit que les roches des environs de Fréjus présentent une série assez complète d'actions promorphiques, depuis le pechstein entièrement vitreux jusqu'à la pyroméride à gros éléments. Elles nous montrent en outre les résultats de quelques actions secondaires, ou du moins nettement postérieures à la formation des fissures perlitiques, comme par exemple le remplissage par une matière stéatiteuse de ces fissures et la production de la calcédoine dans la pâte englobant les sphérolites et dans leurs fentes de retrait.

Pyromérides des Vosges. — La pyroméride de Wuenheim, dont M. Delesse a donné une description dans son mémoire sur les roches globuleuses (1), offre des particularités très-analogues à celle de Gargalong ; la *fig.* 7, Pl. IX, représente une plaque taillée dans un échantillon de cette roche, à pâte cornée grise et verte, contenant des globules blanchâtres nettement rayonnés.

Au microscope, à la lumière ordinaire, on voit les globules d'un brun très-clair, composés de houppes pétrosiliceuses finement rayonnées, se terminer à leur périphérie par une bordure concrétionnée, qui en trace nettement les limites. La pâte englobante les moule régulièrement, même

(1) *L. c.*, 313.

dans les parties où leurs bords ont subi de petits ressauts, correspondant à des fissures de retrait qui intéressent seulement les sphérolites. Cette pâte est remplie de fissures perlitiques très-régulières, toujours tangentes à la substance pétrosiliceuse des sphérolites et évidemment postérieures à leur formation.

On distingue çà et là dans les fissures perlitiques une substance stéatiteuse verdâtre ; la pâte proprement dite est généralement claire dans l'intérienr des pseudo-globules perlitiques, et finement ponctuée de granulations brunes au pourtour.

Sous les Nicols croisés, les sphérolites s'illuminent partiellement ; les houppes pétrosiliceuses prennent une teinte bleu foncé ; elles sont en outre parsemées de petits granules jaunes plus clairs qui se déplacent par la rotation de la plaque, et dont les uns sont encore nuageux, tandis que d'autres présentent la limpidité et les caractères habituels du quartz. Les sphérolites sont en outre traversés par une foule de petites traînées irrégulières d'une substance bleuâtre, très finement grenue, qui rappelle entièrement certaines variétés de calcédoine.

Dans la pâte englobant les sphérolites, la substance claire des pseudo-globules perlitiques se résout sous les Nicols croisés en un grand nombre de petits granules jaunes, dont plusieurs présentent aussi les caractères du quartz ; les granules juxtaposés suivent souvent les enroulements des fissures perlitiques ; quelques-uns même les traversent indubitablement. La substance finement ponctuée qui entoure les pseudo-globules se comporte, au contraire, comme la calcédoine des sphérolites.

Ainsi, dans la pyroméride de Wuenheim, la matière pétrosiliceuse des globules est à coup sûr promorphique ; mais l'état grenu général de cette roche, apparent sous les Nicols croisés, paraît dû à des agents qui ont continué ou même commencé leur action postérieurement à la forma-

tion des fissures perlitiques ; ces agents ont aussi amené l'exsudation de la calcédoine dans les moindres fissures de la roche.

Trachytes quartzifères et perlites de Hongrie et du mont Dore.—Dans les perlites et dans les trachytes quartzifères de Hongrie, la substance pétrosiliceuse est aussi constamment accompagnée de produits siliceux ; l'opale y est abondante, ainsi que de petits nids de silice mamelonnée auxquels Vogelsang a donné le nom de *cumulites;* il les considère comme des agrégats de globulites.

M. von Lasaulx, dans son étude sur les trachytes quartzifères du mont Dore (1), signale plusieurs variétés sphérolitiques, dans lesquelles les sphérolites sont primordiaux : « C'est à peine, dit-il, si l'on peut trouver matière à un doute sur ce point, savoir qu'ils ne sont pas la conséquence d'une décomposition, comme voulait l'admettre Bischof, et ainsi que M. Zirkel (2), semble presque le supposer, au moins pour une obsidienne de la Nouvelle-Zélande. »

M. von Lasaulx pense que les filons de trachyte quartzeux du mont Dore, sphérolitiques aux affleurements, changent de nature en profondeur ; ils devraient en partie leur forte teneur en silice à l'humidité des bassins d'eau douce limités, au fond desquels se sont déposés les tufs trachytiques qui leur servent de roche encaissante ; d'où serait résultée, au moment de l'éruption des trachytes quartzifères, l'intervention d'une forte quantité de vapeur d'eau, et la transformation en roches très-siliceuses des trachytes habituels.

La nature promorphique de la substance sphérolitique, et la grande importance que cette structure prend dans la

---

(1) *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 281, 1872.

(2) *Petrographische Untersuchungen über rhyolitische Gesteine der Taupo-zone, Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 632, 1864.

série des âges géologiques, nous paraissent devoir lui attribuer une cause plus générale que ne seraient des conditions toutes locales de gisement; en tout cas, mainte roche se montre sphérolitique en des points qu'on ne peut considérer comme voisins de son affleurement primitif.

Nous mentionnerons ici que M. Zirkel, dans l'attaque des lamelles d'un pechstein par l'acide fluorhydrique, a obtenu, à côté de microlites allongés, de petites formations hexagonales un peu étirées dans un sens, qui, à un grossissement de 1.000 fois, ont présenté des croix noires sous les Nicols croisés.

Résumé. — Nous résumons, dans le tableau qui suit, l'ordre de succession qui nous paraît exister entre les diverses structures précédemment étudiées :

1°) Épanchement de la roche à l'état fluide.	Pâte fondue avec cristaux anciens en débris.
2°) État pâteux. Promorphisme.	Granulations opaques. Cristallites et Microlites. Matière pétrosiliceuse et Sphérolites. Structure fluidale.
3°) Consolidation définitive.	Fendillement. Structure perlitique. Actions secondaires et d'exsudation (stéatite, calcédoine, etc.).

SUITE DE LA STRUCTURE SPHÉROLITIQUE AVEC GLOBULES IMPRÉGNÉS DE SILICE EN PARTIE AMORPHE.

B. — Porphyres et micro-pyromérides.

L'étude des roches vitreuses nous a conduit à cette conclusion que les propriétés de la silice en excès, imprégnant la matière pétrosiliceuse, y prédominent et masquent les autres éléments du mélange. Une des premières conséquences pratiques vérifiées par l'observation a été de rattacher intimement aux pechsteins plusieurs pyromérides présentant à l'œil nu les phénomènes globulaires.

Désormais nous devons nous attendre à voir l'examen microscopique multiplier singulièrement le nombre des roches qui mériteront la dénomination de micro-pyromérides, et d'autre part les micro-pyromérides seront considérées par nous comme des passages entre les roches vitreuses et celles où les forces cristallines se sont plus entièrement développées.

L'étude des pyromérides à grands éléments a, depuis longtemps, exercé la sagacité des géologues ; Al. Brongniart (1), MM. Roth (2), Delesse (3), Virlet (4), ont successivement abordé ce sujet et fourni de précieuses indications à leurs successeurs. Les analyses chimiques ont notamment fait ressortir avec la plus grande netteté l'excès de silice constamment caractéristique de la substance des globules.

En 1871, M. Stelzner (5) signale le porphyre de Korgon (Altaï) comme contenant de beaux sphérolites microscopiques avec croix noires à reflets bleuâtres, sous les Nicols croisés ; il attribue les reflets à un dichroïsme de la substance sphérolitique. M. Groth étudie le phénomène au point de vue optique, en donne une explication que nous avons rapportée plus haut (p. 353), et découvre que par la rotation de l'analyseur on fait apparaître une seconde croix de couleur complémentaire jaunâtre, beaucoup moins intense que la croix primitive, et douée d'un mouvement de rotation deux fois plus lent que le Nicol, de telle sorte que ses branches ont décrit 45°, quand les Nicols sont parallèles.

(1) *Essai sur les orbicules siliceux, Annales des sciences naturelles*, t. XXIII, 166.

(2) *Die Kugelform in Mineralreiche.*

(3) *Recherches sur les roches globuleuses, l. c. — Sur la pyroméride des Vosges, Bulletin de la Société géologique de France*, t. IX, 175, 1852.

(4) *Sur la formation des oolithes et des masses globulaires en général, Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XV, 190, 1856.

(5) *Gesteine des Altaï, l. c.*

M. Cohen (1) publie, la même année (1871), des observations entièrement analogues sur les porphyres de l'Odenwald; il cherche à établir une distinction entre les roches *globulaires* et *sphérolitiques;* pour lui les *globules* (Kugel) (2) sont composés d'éléments régulièrement ordonnés et individualisés, dont le centre présente souvent des cavités, tandis que les *sphérolites* se composent simplement d'une pâte rayonnée, et ne sont jamais drusiques. Si M. Cohen avait entendu séparer nettement les vacuoles remplies après coup, comme celles de maintes porphyrites, des sphérolites proprement dits qui sont promorphiques, nous adopterions volontiers cette séparation ; mais il est facile de se convaincre (3) que pratiquement M. Cohen paraît avoir rangé toutes les pyromérides à gros éléments dans les roches *globulaires;* or la matière des globules n'y est pas plus individualisée que dans les roches *sphérolitiques;* il reconnaît d'ailleurs la proche parenté des globules et des sphérolites, et leur coexistence fréquente dans les mêmes roches ; réduite à de pareils termes, la distinction nous paraît séparer des phénomènes que tout concourt à identifier.

M. Kalkowsky, dans son mémoire sur les porphyres de la Saxe, dit que sur cinquante variétés étudiées, il n'en a trouvé que deux franchement sphérolitiques.

L'examen des roches que nous avons recueillies en France (4) nous a amené à cette conclusion que tous les porphyres acides, présentant des traces de fluidalité, sont,

---

(1) *Die zur Dyas gehörigen Gesteine des südlichen Odenwaldes*, Heidelberg, 1871.

(2) *Ibid.*, p. 85.

(3) *Ibid.*, p. 89.

(4) Porphyres bruns et amarantes du Var, p. bruns de Lugano (Cugliate, Grantola), p. bruns de Montreuillon (Nièvre), p. violets près Avallon (moulin Cadoux, Presle), p. violets des Vosges (Bréhimont), p. violets de la Creuse, p. bruns et blancs de Sincey, eurites de la Selle près Autun, de Bourganeuf.

par places, sphérolitiques. Les environs de Montreuillon (Nièvre) offrent de beaux exemples de ces deux structures; ainsi les porphyres de l'aqueduc et du Haut-Mont (*fig.* 8, Pl. IX) sont surtout fluidaux; ceux de la carrière de Mont-Chérus (*fig.* 10, Pl. X) présentent une pâte entièrement sphérolitique, et les globules, bien visibles à un grossissement de 250 fois, sont tous pourvus d'une croix noire très-régulière sous les Nicols croisés.

Dans son cours professé à l'École des mines, M. de Chancourtois a, depuis longtemps, fait ressortir la curieuse association des structures rubanée et globulaire, très-visibles à l'œil nu dans quelques échantillons de la pyroméride de Corse; seulement il compare les roches sphérolitiques aux vacuolaires, et c'est par l'allongement des globules ou des vacuoles qu'il entreprend d'expliquer les phénomènes de rubanement de la pâte.

Pour nous, les traces de la structure fluidale sont des indices de la nature pâteuse qu'a possédée la roche avant sa consolidation définitive, et de l'état incomplétement cristallin de son magma; or la structure sphérolitique est également une conséquence de la lutte entre l'état amorphe et l'état cristallin, et il est naturel de trouver ces deux structures réunies dans les mêmes roches.

C'est dans les porphyres encore bien fluidaux (1) que le phénomène sphérolitique est le plus instructif. Ils présentent, par places, des traînées plus cristallisées que l'ensemble de la pâte; dans ces traînées orientées suivant la fluidalité, on distingue généralement trois zones concentriques dont la plus intérieure est composée de quartz récent entièrement cristallisé. Puis viennent de petits microlites dont les caractères optiques sont ceux de l'orthose et qui, implantés sur le bourrelet marginal de la pâte,

(1) Les porphyres de Montreuillon et de Bréhimont montrent nettement, en masse, leur fluidalité générale à l'œil nu.

sont comme noyés dans le quartz du centre. Enfin un bourrelet, finement nuageux et comme houppé, sert de support et de bordure à cette sorte de boutonnière; c'est dans ce bourrelet que la lumière polarisée décèle constamment de nombreux sphérolites avec croix noires, souvent fort beaux et d'assez grande taille.

La *fig.* 9, Pl. IX, donne un exemple de ces boutonnières observées dans un porphyre du Haut-Mont, près Montreuillon (Nièvre). Mais la plus belle plaque mince en ce genre nous a été fournie par le porphyre de Tharandt en Saxe; la *fig.* 8, Pl. IX, montre que les microlites d'orthose y forment par places, autour de noyaux opaques ferrugineux, de vraies étoiles rayonnées. D'autres fois ils s'implantent radialement sur les sphérolites eux-mêmes; à la lumière polarisée, les croix noires se propagent au loin dans la pâte et sont d'une grande netteté.

Ici encore la matière des sphérolites se présente bien comme un état de transition entre les zones amorphes et les parties entièrement cristallisées des porphyres fluidaux; la consolidation définitive des éléments de la boutonnière paraît un peu postérieure à la fluidalité.

CHAPITRE VI.

STRUCTURE SPHÉROLITIQUE AVEC GLOBULES IMPRÉGNÉS DE QUARTZ CRISTALLISÉ.

Dans sa thèse de 1874, M. Kalkowsky fait observer (1) que plusieurs des porphyres de la Saxe paraissent, dans la lumière naturelle, chargés de sphérolites bien radiés qui, sous les Nicols croisés, perdent entièrement ce caractère pour s'éteindre en trois, quatre ou plusieurs parties juxtaposées, sans d'ailleurs présenter le phénomène de la croix (2).

(1) *Porphyres et pechsteins de la Saxe, l. c.*, 48. — M. Kalkowsky cite notamment l'argilophyre de Dobritz, près Meissen (Triebischthal).

(2) Sphérolites *cumulaires* de M. von Lasaulx; *Pétrographie*, 111, 1875.

Cette intéressante observation demandait à être complétée ; un grand nombre des porphyres que nous avons étudiés, présentent à ce point de vue des apparences assez instructives pour élucider la question complexe des sphérolites dénués de croix.

Les *fig.* 11, 12 et 13, Pl. X, représentent des porphyres des environs de Lugano (Morcote) et du Morvan (les Forges près Saint-Honoré, la Porte près Sainte-Pérouse) (1), dans lesquels la pâte est semée de sphérolites nettement radiés à la lumière ordinaire ; plusieurs ont pour centre un débris de quartz ancien, souvent très-cassé et très-corrodé. Les sphérolites isolés dans la pâte sont parfois entièrement arrondis ; mais on en voit aussi à sections polygonales ; quand la substance sphérolitique entoure les débris de quartz ancien, elle en reproduit habituellement les contours, car son épaisseur est constante. Les *fig.* 12 et 13 reproduisent fidèlement ces diverses apparences.

Sous les Nicols croisés, la plupart de ces sphérolites s'éteignent en une fois, quelques-uns en deux ou trois parties différentes. Mais le fait dominant est que l'extinction des débris centraux de quartz ancien se produit en même temps que celle de leur couronne ; l'observation est des plus aisées et ne souffre pas d'exceptions.

Il y a plus : la matière sphérolitique, vue à de forts grossissements, est traversée par un lascis de petites veinules claires qui se colorent des mêmes teintes de polarisation que le quartz central ; à un grossissement de 1.400 fois, on y découvre quelques inclusions liquides à bulles mobiles.

Le phénomène, envisagé dans son ensemble, ne nous paraît susceptible que d'une seule explication : la matière

---

(1) Les porphyres de Lormes à grands cristaux, de la Muldene Hütte, près Freïberg (Saxe), de Maroggia, près Lugano, de Sillé-le-Guillaume, etc., présentent le même phénomène.

finement houppée et pétrosiliceuse des globules est imprégnée de quartz récent, qui a cristallisé suivant une orientation générale unique, coïncidant avec celle du débris de quartz central ; ce dernier a servi de pivot et de point de départ à l'étoilement cristallin.

Il est inutile d'insister sur l'analogie que présente un pareil phénomène avec celui que nous pouvons constater au sein de toutes les dissolutions salines que l'on fait cristalliser dans les laboratoirés autour d'un cristal similaire.

On saisit désormais la gradation des forces cristallines, qui sont les agents du promorphisme pétrosiliceux dans les porphyres : la silice en excès n'atteint pas, d'un seul jet, à la cristallisation parfaite ; elle s'isole d'abord sous forme d'opale (densité : 1,90 à 2,30) ou de calcédoine, et la structure radiale ou concentrique est dominante dans les sphérolites à croix noires ; puis la silice imprègne les globules sous forme de quartz cristallisé (densité : 2,60) (1), et nous passons aux globules à extinction totale.

Nous connaissons des roches (2) où les globules des deux espèces se trouvent à côté les uns des autres. Mais l'étude des séries de porphyres du plateau central nous a permis de pousser plus loin l'analyse du phénomène globulaire, à mesure que les forces cristallines prédominent de plus en plus. Nous allons, grâce à elle, trouver un passage entre les roches à pâle semi-amorphe et celles dont le magma est entièrement cristallisé.

---

(1) Nous rappellerons que, d'après Sénarmont, la densité du quartz fondu est de 2,20. C'est aussi, d'après Rivot, celle de la silice obtenue dans les analyses.

(2) Notamment les eurites de la Selle, de Bourganeuf et de Sainte-Magnance, certaines variétés des porphyres de la Colancelle, des eurites rouges de Chambodut, près Saint-Just-en-Chevalet, etc.

TROISIÈME PARTIE.

MAGMA ENTIÈREMENT CRISTALLISÉ.

CHAPITRE VII.

STRUCTURE PEGMATOÏDE.

Micro-pegmatites. — La *fig.* 14, Pl. X, rend bien compte de l'aspect que prend, sous le microscope, le porphyre qui occupe le sommet du mont Genièvre, près Saint-Honoré (Nièvre); cette apparence est extrêmement répandue parmi les porphyres à grands cristaux du Morvan. On perçoit sous les Nicols croisés, dans un magma entièrement cristallisé, d'innombrables petits coins limpides à couleurs brillantes, des palmes en barbe de plume, des hachures; le tout disposé en orientations symétriques, dans les plages irrégulières d'une substance feldspathique nettement douée des quatre extinctions à angles droits, pour une rotation totale de la plaque.

La substance limpide, examinée aux forts grossissements, contient de petites inclusions liquides à bulles mobiles; elle rappelle, d'ailleurs, d'une façon remarquable, les allures du quartz des pegmatites graphiques.

La substance feldspathique présente souvent des dispositions palmées en feuilles de fougère et rappelle les formes que nous ont offertes les cristallites de plusieurs substances.

M. Zirkel (1) avait déjà remarqué (1863) que le quartz et l'orthose s'associent sous forme de réseau dans certaines roches, et notamment dans le porphyre gris de Joachimsthal.

M. Cohen (2) signale, dans certains porphyres globulaires

---

(1) *Mikrosk. Gesteinstudien, l. c.*, 244, 1863.
(2) *L. c.*, 91, 1872.

de l'Odenwald, un quartz irrégulièrement terminé, alternant avec de petites lamelles de feldspath rangées sous forme de gerbes. Cette première conception d'un quartz de consolidation récente paraît se rapporter plutôt aux exemples de traînées cristallines décrits dans le chapitre précédent qu'aux micro-pegmatites. M. Cohen ajoute, d'ailleurs, que ces apparences n'ont pas de lien nécessaire avec la structure globulaire.

M. Rosenbusch ne consacre à ces mélanges si remarquables et si répandus que quelques lignes (1) ; mais s'il ne paraît pas avoir saisi, non plus que les autres géologues allemands, l'importance de cette structure, il trouve le mot juste pour la caractériser, en rappelant que, sur une plus grande échelle, les granites graphiques nous présentent des mélanges analogues.

L'étude d'un grand nombre (2) de micro-pegmatites ne nous a pas donné lieu de constater qu'il y ait une relation constante entre les orientations du quartz et du feldspath récents : en général les deux minéraux ne s'éteignent pas ensemble sous les Nicols croisés, mais toutes les palmes quartzeuses d'une même plage d'orthose s'éteignent simultanément.

C'est au voisinage des débris de quartz ancien que l'observation des micro-pegmatites est la plus instructive ; les plages de feldspath récent se disposent autour d'eux en segments grossièrement rayonnés, et s'étendent souvent fort loin dans la pâte. Mais le fait dominant est que généralement toutes les hachures de quartz récent qui avoisinent le débris central, se colorent comme lui et s'éteignent avec lui.

Sous les Nicols croisés, la roche paraît remplie de glo-

(1) *Mikrosk. Physiographie*, 331, 1873.

(2) Porphyres de Rochesson (Vosges), de Boën et d'Urphé (Loire); nombreux filons porphyriques NNE. et NE., près Saint-Honoré (Nièvre); porphyres de la Chaise, près la Colancelle, de Zehren (Saxe), etc., etc.

bules à extinction, et ces curieux étoilements semblent s'être répandus de proche en proche, par prise en masse du magma, comme si les anciens débris de quartz avaient servi de centres et de points de départ à l'ébranlement cristallin. Souvent le grain de la roche devient très-petit (1); les palmes de quartz et de feldspath, quoique toujours très-allongées, s'atténuent de plus en plus en épaisseur et demandent de forts grossissements pour être nettement décomposées; enfin quelquefois, aux plus forts grossissements, la décomposition est incomplète. En un mot, les *micro-pegmatites à étoilements* passent par gradations insensibles aux roches sphérolitiques douées de globules à extinction. Le rapprochement est d'autant plus naturel que des échantillons provenant d'un même filon peuvent présenter toutes les variétés intermédiaires (2).

Plusieurs micro-pegmatites à étoilement montrent à l'œil nu un caractère qui permet de préjuger leur structure intime : autour de chaque grain de quartz ancien (seul quartz visible sans le secours du microscope), on voit saillir une fine bordure pétrosiliceuse, généralement rouge, d'une couleur et d'une dureté différentes de celles de la pâte proprement dite. Un des plus beaux exemples de ces pyromérides d'un nouveau genre, représenté *fig.* 13, Pl. X, peut être observé en place sur la gauche du sentier qui conduit du hameau des Forges au château de la Bussière, à quelques mètres au nord du point 275 et de la grande route de Luzy (Nièvre).

---

(1) Porphyres à grands cristaux de la Loire (près Saint-Maurice).

(2) Porphyres de Lucenay-l'Évêque, près Autun, de Sillé, de Cusset, près Vichy, du Toureau-des-Grands-Bois (Pont des Ponteaux, près le Vouchot, Nièvre).

CHAPITRE VIII.

STRUCTURE GRANULITIQUE.

A. — Micro-granulites.

Dans les micro-pegmatites, nous avons vu la silice en excès cristalliser simultanément avec le feldspath récent par une sorte de prise en masse et de propagation étoilée qui rappellent à l'esprit le développement des aiguilles de glace dans une eau bourbeuse ; si nous supposons un accroissement ou une prolongation des forces cristallines mises en jeu, les molécules de silice conserveront plus longtemps leur mobilité ; chacune des petites palmes de quartz tendra à se contracter, puis à se réunir aux voisines sous forme de petits cristaux bipyramidés, et l'on obtiendra ainsi le maximum d'individualisation des globules siliceux récents.

Les lamelles de feldspath seront brisées et charriées çà et là, quelquefois même fichées dans un cristal de quartz récent. Sous le microscope polarisant, la roche composée de petits granules de quartz et de lamelles de feldspath très-diversement orientés, prendra l'apparence d'une mosaïque à couleurs variées ; telle est précisément la description qui s'applique à un grand nombre de porphyres (1) et, lorsque le grain augmente, à toute une série de roches réputées granitiques.

La pâte englobant les sphérolites du porphyre représenté *fig.* 13, Pl. X, est une micro-granulite bien caractérisée.

Les principales apparences de cette structure n'avaient pas échappé aux auteurs allemands ; c'est à M. Bara-

---

(1) Les porphyres granitoïdes d'Urphé, les p. de Saint-Polgues, de Saint-Germain-Laval, le p. rouge du pont de la Sovaglia, près Rovio, appartiennent à cette structure.

nowski (1), que nous devons la première description de porphyres de cette espèce ; il en a trouvé les éléments dans les puissants filons de la Saxe (Altenberg, Beucha) que Naumann, MM. Cotta et Zirkel ont décrits sous les noms de Granit-Porphyr, Syenit-Porphyr.

De même que pour les micro-pegmatites, l'aspect de la pâte des micro-granulites ne permet pas à l'œil nu de démêler leur structure intime, et c'est ici le cas de faire remarquer que le nombre des porphyres dont la pâte se résout sous le microscope en un magma entièrement cristalisé, est beaucoup plus grand qu'on ne l'avait d'abord supposé ; il est curieux à ce point de vue de suivre les diverses opinions (2) qui ont eu cours dans la science, et de constater combien la notion de l'âge des éruptions aurait simplifié les discussions si elle avait été plus généralement admise.

L. de Buch (*Voyage en Norwége*, 1808) regarde la pâte de tous les porphyres comme composée de très-petites parties individualisées de feldspath et de quartz.

M. Grüner (3) sépare les porphyres granitoïdes, où la pâte est entièrement composée d'éléments cristallisés, des porphyres qui possèdent une pâte proprement dite.

M. Delesse (4) considère qu'après séparation des cristaux isolés, il reste dans les porphyres un silicate indéterminé sans éléments minéralogiques individualisés.

M. J. Roth (5) rattache les porphyres quartzifères aux granites et aux syénites ; il fait remarquer que quelques analyses semblent exiger la coexistence dans la pâte de

---

(1) *Ztschft. d. d. geol. Gesells.*, 522, 1874. — *Id.*, *Inaugural dissertation*, Leipsig, 1873.

(2) Cs. Zirkel, *Mik. Besch.*, *l. c.*, p. 321, et Kalkowsky, *l. c.*, 40.

(3) *Mémoire sur la nature des terrains de transition et des porphyres du département de la Loire*, *Annales des mines*, 3e série, XIX, 53, 1839.

(4) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, VI, 629, 1849.

(5) *Gesteinanalysen*, Berlin, 1861, XXXII.

certains porphyres, de silice en excès, d'orthose, d'oligoclase et de mica magnésien. Il est évident que dans ces dernières analyses, les cristaux en débris n'avaient pu être suffisamment triés.

L'emploi des plaques minces et du microscope n'amène pas tout d'abord à des opinions plus concordantes.

M. Zirkel (1863) admet que la pâte des porphyres présente toujours une structure grenue (körnig) et cristalline.

Vogelsang affirme, au contraire, qu'abstraction faite des plus petits microlites, il reste toujours dans les porphyres un résidu semi-cristallin irréductible (1).

M. Stelzner paraît tenir la pâte des porphyres pour grenue, tandis que M. Cohen se range à l'opinion de Vogelsang.

Enfin M. Zirkel (2), revenant sur sa première opinion, adopte en 1873 une solution éclectique et reconnaît qu'à côté de porphyres à pâte grenue, il s'en trouve de réellement pétrosiliceux (micro-felsite), doués de parties amorphes « dévitrifiées », sans action sur la lumière polarisée et ne contenant pas d'éléments minéralogiques individualisés.

Cette dernière hypothèse a prévalu; MM. Kalkowsky et von Lasaulx (3) l'ont récemment adoptée et appuyée de divers exemples. La divergence des opinions précédemment émises tenait d'ailleurs surtout à ce fait, que les séries porphyriques étudiées étaient incomplètes.

Des relations de la structure granulitique avec les précédentes structures. — État grenu. — Certains porphyres à structure fluidale très-apparente (4), et par conséquent encore voisins des roches vitreuses étirées, se parsèment sous les Nicols croisés de petits points brillants; on ne peut saisir même aux plus forts grossissements, les contours

(1) *Philosophie der geologie*, p. 132.
(2) *Die mikroskopische Beschaffenheit*, etc., *l. c.*, p. 325.
(3) *Petrographie*, *l. c.*, 257 (Felsit).
(4) Porphyres de Sincey, de Tharandt, du Var, etc.

de ces grains cristallins, qui ne se touchent pas les uns les autres.

C'est un acheminement vers la structure granulitique; mais il convient de remarquer que les roches où cet état grenu a été constaté sont très-riches en traînées pétrosiliceuses et même sphérolitiques, qui sont à la structure pegmatoïde ce que cet état grenu est à la structure granulitique. L'hypothèse que nous avons développée plus haut à propos du rôle que jouent les forces cristallines dans la structure micro-granulitique et de la place relative où il convient de la ranger dans la série des structures, reçoit donc ici une nouvelle confirmation.

Cet état grenu nous a éte présenté par plusieurs pyromérides (Gargalong, Wuenheim) et par certaines variétés des pechsteins du Var, dans des circonstances où tout fait supposer que sa production est postérieure à celle des fissures perlitiques et par conséquent à une première consolidation de ces roches, primitivement en partie vitreuses.

Ces exemples, sur lesquels nous avons insisté plus haut, semblent marquer une ligne de démarcation bien tranchée entre la structure granulitique et les précédentes, qui toutes se relient intimement à des phénomènes promorphiques. Nous ne pouvons plus ici affirmer que l'état grenu et la structure granulitique ne sont jamais le résultat d'actions secondaires ou métamorphiques; en d'autres termes, il est possible que ces divers modes de structure, et ceux qui s'y rattachent (structure granitique), se soient parfois produits postérieurement à une première consolidation des roches qui nous les présentent.

Mais les autres considérations que nous avons exposées plus haut nous induisent à supposer que, le plus souvent, les agents, produisant la structure granulitique, diffèrent seulement par leur intensité relative de ceux auxquels il faut rapporter les structures pegmatoïde et pétrosiliceuse.

Ces agents, qui prolongent la mobilité relative des

molécules de silice, dans les roches acides, paraissent, dans certains cas, continuer leur action même après l'état de consolidation du magma, qui est corrélatif de la production des fissures perlitiques.

Tous les passages, de l'état à peine grenu à la structure granulitique la plus développée, sont présentés d'une façon fort instructive par les veines de calcédoine, si abondantes dans toute une série de porphyres ; les quartz des filons, caractéristiques des différents remplissages dont ils forment la gangue, offrent aussi dans l'agencement et dans l'orientation relative de leurs différents éléments cristallins, des gradations analogues.

Combinaison avec les micro-pegmatites. — La coexistence, dans une même roche, des structures granulitique et pegmatoïde est assez fréquente. Ainsi, les globules à extinction de plusieurs porphyres (1) sont noyés dans une pâte très-grenue ; et de même les étoilements de certaines micro-pegmatites (2) sont englobés dans un magma franchement granulitique. Les plus beaux exemples de ces mélanges nous ont été fournis par les porphyres de Montbaron (Nièvre) et par les granulites proprement dites (3) ; nous devons à l'obligeance de M. Douvillé, ingénieur des mines, la plaque représentée *fig.* 15, Pl. XI ; elle lui a été fournie par une granulite du château de Montaignet, près La Palisse (Allier), et rend bien compte du mélange des deux structures. Certaines granulites récentes de l'île d'Elbe en présentent aussi des exemples caractéristiques. Dans les porphyres, la consolidation des étoilements pegmatoïdes est nettement antérieure à celle du magma granulitique.

B. — Granulites proprement dites.

L'étude des micro-pegmatites et des micro-granulites

(1) Porphyres de Maroggia, etc.

(2) Porphyres à grands cristaux de Saint-Maurice (Loire), etc.

(3) Altenberg (granite de la mine); les Isserteaux (Puy-de-Dôme), etc.

est d'autant plus intéressante qu'elle comble une lacune entre les porphyres et les granites, et permet de passer des roches entièrement cristallisées à l'œil nu, aux roches à pâte indistincte ou aphanitique.

Nous avons déjà fait ressortir, dans une note précédente (1), l'importance géologique de la série éruptive à laquelle nous avons proposé de donner le nom générique de granulites ; leur texture est absolument celle des microgranulites ; seulement la grosseur du grain permet d'en saisir les principaux détails à l'œil nu.

La plupart des pegmatites ordinaires ne sont que des granulites à grandes parties ; les pegmatites graphiques sont rares et ne forment guère que des accidents locaux dans la série générale des granulites.

La grosseur du grain et l'étendue des plages de feldspath récent permettent d'étudier dans cette série diverses particularités de texture, qui s'étendent d'ailleurs à d'autres roches et notamment aux granites, mais qui ne sont nulle part plus nettes que dans les granulites : ce sont les mélanges d'orthose récent et de quartz, les mâcles d'orthose et de microcline, enfin la présence du mica blanc, comme élément récent et souvent dominant dans le magma cristallisé.

Mélanges d'orthose récent et de quartz ou d'albite. — L'orthose de plusieurs pegmatites et granulites, qui paraît absolument pur à l'œil nu, se montre au microscope traversé par une foule de veinules parallèles et équidistantes qui, sous les Nicols croisés, se colorent généralement en jaune. Ces veinules, plus limpides que le feldspath avoisinant, montrent aux forts grossissements de petites inclusions liquides avec bulles mobiles ; elles ont donc certaines caractères du quartz. Nous les avons étudiées dans des plaques taillées parallèlement au clivage O de l'orthose, et nous avons pu

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 5e série, t. II, 177, 1874.

constater que leurs traces, quoique parallèles dans chaque plaque à une ou deux directions principales, ne font pas un angle constant avec la trace du second clivage h¹ : ainsi, dans l'orthose de la pegmatite de Santec (Finistère), cet angle est d'environ 16° ; dans la pegmatite de Chanteloube, près Limoges, on distingue deux directions, l'une à 16°, l'autre à 35° ; dans celle d'Oack Creck (nouvelle route de Rosita, Colorado), le même angle est de 28°. Les *fig.* 16 et 19, Pl. XI, rendent un compte exact de ces deux derniers exemples (1).

Le fait dominant est l'extinction à peu près simultanée de la substance limpide et de l'orthose, dans les plaques perpendiculaires au clivage h¹ ; il est donc certain que, si elle est constituée par du quartz, son axe principal est parallèle ou perpendiculaire au plan de symétrie de l'orthose.

Mais à côté de ces caractères de limpidité, d'inclusions liquides clair-semées et d'infiltration filonienne irrégulière, l'observation attentive de la substance que nous étudions nous a permis d'y déceler par places des bandes de couleurs différentes, surtout visibles, lorsqu'elle est près de s'éteindre.

Ainsi, on peut supposer qu'on a tantôt affaire à du quartz, tantôt à un feldspath triclinique de contraction.

D'après des observations récentes, dont M. Des Cloizeaux a bien voulu nous communiquer les résultats, l'albite se présenterait fréquemment dans des conditions analogues ; peut-être même doit-on considérer les veinules irrégulières, que nous avons décrites plus haut, comme remplies exclusivement d'albite. En effet, si l'extinction de la substance limpide se produit, dans les plaques parallèles au clivage O, à peu près simultanément avec celle de

(1) Nous avons décrit un phénomène analogue dans une note précédente (*Granite de Vire, caractères microscopiques des roches acides*, etc., p. 200, *l. c.*), sans en donner l'explication.

l'orthose, les plaques parallèles au clivage Ì montrent la même substance s'éteignant à 15° ou 20° de l'arête Ì—O; or ces limites angulaires sont celles de nombreuses variétés d'albite.

Macles d'orthose récent, et de microcline. — L'orthose récent englobe souvent de nombreux débris anciens ; la *fig.* 20, Pl. XII, représente une granulite tertiaire de l'île d'Elbe (en relation avec les pegmatites à tourmaline rose) où, parmi les débris englobés par le feldspath récent, on aperçoit de nombreuses lamelles très-allongées d'un feldspath triclinique, irrégulièrement distribué. Cette irrégularité est l'exception, et l'on a très-souvent affaire aux mâcles symétriques, qui ont été d'abord signalées dans la perthite. La structure de ces mélanges est très-caractéristique sous les Nicols croisés, et s'y décèle par les stries parallèles que dessinent, dans diverses directions, les couleurs de la polarisation ; les mâcles les plus fréquentes ont lieu parallèlement aux faces Ì et Ī : leurs traces forment donc un réseau à angles droits sur les clivages O ; plus rarement on trouve quelques lamelles de feldspath triclinique mâclées suivant une des faces I.

L'usage du microscope a singulièrement augmenté le nombre des roches où ces mâcles peuvent être observées :

M. Gehrard (1) étudie en 1862 la composition de la perthite et croit y reconnaître un mélange d'albite et d'orthose.

M. Tschermak (1864) (2) généralise cette observation en l'appliquant à sa théorie des mélanges feldspathiques ; on sait que M. Tschermak n'admet que trois espèces de feldspath : l'orthose, l'albite et l'anorthite ; les autres feldspaths sont pour lui des mélanges.

---

(1) *Ueber lamellare Vervachsung zweier Feldspath-Species;* Zeitschft d. d. geolog. Gesellsch. XIV, 151, 1862.

(2) *Die Feldspathgruppe*, Académie des sciences de Vienne, décembre 1864, L, 566.

M. Kreischer (1869) (1) signale l'existence de macles, analogues dans la pegmatite d'Arendal ; M. vom Rath (1870) (2), les découvre dans les granites de l'île d'Elbe, M. Streng (1871) (3), dans l'orthose de Harzburg.

M. Rosenbusch (1873) (4) cite plusieurs roches qui présentent de beaux exemples de ces mélanges : le granite graphique de Birkenau (Odenwald), un orthose gris du filon granitique de Macahé, un orthose vert du granite de Petropolis (province de Rio-de-Janeiro), l'orthose de Klensch (Bohême), de Delaware-County, la pierre des Amazones de Julianenhaab et de Mursinsk.

Enfin M. von Lasaulx (1874) (5), signale les mêmes apparences dans la pegmatite du Puy-de-Berzet (Puy-de-Dôme).

Les opinions sur la nature intime des feldspaths ainsi striés à angles droits, ne paraissent pas toujours très-concordantes ; les auteurs allemands y voient généralement des mélanges d'albite et d'orthose. M. Gehrard a assis sur l'analyse chimique les conclusions auxquelles il est arrivé pour la perthite, dont les éléments, d'ailleurs de couleurs distinctes, seraient visibles à l'œil nu.

M. Stelzner (6) met en garde contre une double macle fréquente dans le Labrador, qui présente souvent dans les lames minces, deux systèmes de stries, presqu'à angle droit.

M. Zirkel (7) fait observer que certaines pierres des

---

(1) *Mikrostructur des Pegmatoliths von Arendal*, neues Jahrb. für Mineralogie, 1869, 208.

(2) *Mineralogisch-geognotische Fragmente aus Italien.* Ztschft. d. d. geolog. Gesellsch. XXII, 1870, 657.

(3) *Feldspathstudien*, neues Jahrb. für Mineralogie, 1871, 721.

(4) *Mikrosk. Physiogr.*, *l. c.*, 330.

(5) *Ueber sogenannte Hémithrène*, etc., *l. c.*, 33.

(6) *Mikrostructur de Labradorites und Pegmatolithes*, Berg-u-Hüttenmann. Ztg., XXIX, 150, 1870.

(7) *Streifiger Orthoclas.* neues Jahrb. für Mineralogie, 1872, 12.

Amazones, qui paraissent striées à l'œil nu, présentent sous le microscope des plages qui s'éteignent tout entières à la fois; les stries sont dues alors à des inclusions alignées de corps étrangers.

Tout récemment, M. Frank Rutley a étudié quelques particularités relatives aux stries présentées par divers feldspaths; ses conclusions sont (1) que certains orthoses peuvent présenter des stries sans être maclés avec des lamelles de feldspath triclinique, et que d'ailleurs dans les cristaux de sanidine de divers trachytes, les stries paraissent souvent en relation avec l'état encore cristallitique de ce minéral, qui rappelle alors les feldspaths artificiels de certains laitiers (2).

Nous avons signalé des exemples naturels de ce dernier phénomène dans le feldspath récent des micro-pegmatites, mais nous le croyons toujours facile à distinguer des stries en forme de réseau, seulement visibles sous les Nicols croisés, que nous étudions ici.

Enfin M. Des Cloizeaux (3), qui poursuit des recherches optiques sur une série d'échantillons de pierres des Amazones, annonce que, « parmi les feldspaths verts connus sous ce nom, il existe deux variétés appartenant par l'orientation du plan de leurs axes optiques et de leurs bissectrices, l'une à l'orthose, l'autre à un feldspath triclinique. Dans les échantillons de cette dernière variété, les deux clivages principaux font entre eux un angle qui ne diffère de 90° que de 10 à 20 minutes; ils constituent donc le véritable *microcline de Breithaupt.* »

---

(1) *Notes on some Peculiarities in the microscopic structure of Felspars*, Quaterly Journal of the geological Society, août 1875, 479.

(2) Le laitier des hauts fourneaux de Maxéville, près Nancy, moulé pour pavés, offre un très-bel exemple de cristallites feldspathiques artificiels.

(3) *Minéralogie*, t. II; *Additions et modifications*, p. XXXV, 1874.

On voit que M. Des Cloizeaux est amené à confirmer l'existence d'un feldspath triclinique de même composition que l'orthose, qui serait ainsi dimorphique.

M. Chaper a bien voulu nous confier récemment l'examen d'une série de granulites et de pegmatites blanches et rouges du Colorado, qui nous ont offert les plus beaux exemples de macles à angles droits, quand la plaque est taillée parallèlement au clivage O. Les *fig.* 17, 18 et 19, Pl. XI, rendent fidèlement les jeux de coloration produits par les Nicols croisés dans deux granulites (Central-City et Grape-Creek) et dans une pegmatite (Oack-Creek, nouvelle route de Rosita) du Colorado. L'angle des clivages de ces feldspaths, mesuré au goniomètre, se rapproche beaucoup de 90°, mais les faces ne sont pas d'une pureté suffisante pour permettre une approximation de plus d'un demi-degré.

L'incertitude même, qui planait encore récemment sur la composition de ces mélanges, nous a conduit à examiner quelques-unes des roches où l'orthose et l'albite ont été reconnues en associations à l'œil nu et nettement déterminées, soit par leur analyse chimique, soit par leurs propriétés optiques.

La pegmatite de la Vilate, près Chanteloube, est signalée par M. Des Cloizeaux (1) comme contenant de l'albite blanchâtre en crête de coq, d'un aspect caractéristique; un orthose rose de chair de cette provenance nous a fourni au microscope polarisant les mêmes réseaux que les roches du Colorado; la *fig.* 16, Pl. XI, le représente. Nous ferons les mêmes remarques pour les granites-pegmatoïdes de Baveno (Italie) (2) et du Hirschberg (Silésie).

Mais cette coïncidence paraît se rapporter à la fréquente existence de veinules d'albite dans les mélanges de micro-

---

(1) *L. c.*, t. I, p. 314.

(2) Cordier, *l. c.*, p. 76. — Schéerer, *Granites de Baveno et de Montorfano, comitato geologico Italiano*, 1871.

cline et d'orthose, et les études encore inédites de M. Des Cloizeaux sur le microline ne laissent prise à aucun doute au sujet de la nature des lamelles tricliniques généralement maclées à l'orthose dans les roches que nous avons précédemment citées. Nous avons pu vérifier, notamment, que l'angle sous lequel les lamelles maclées subissent successivement leur extinction, sous les Nicols croisés, dans les plaques taillées parallèlement au clivage le plus facile O, se rapporte bien à celui que M. Des Cloizeaux attribue aux axes d'élasticité du microcline pour une pareille section, et qu'il est nettement différent de celui qui caractérise l'albite, l'oligoclase ou le labrador.

Bien que les plus belles plaques de ces mélanges nous aient été fournies par des roches de la classe des granulites, nous les avons rencontrés aussi dans un grand nombre d'autres roches, et souvent à l'état de cristaux en débris anciens (1).

Présence du mica blanc comme élément récent dans le magma cristallisé.— Toute la classe des granulites contient du mica blanc, parfois en telle abondance qu'il forme, avec le quartz récent, le principal élément du magma cristallisé.

L'étude attentive de ses conditions de développement amène à le considérer comme la substance la plus récemment consolidée dans ces roches ; bien plus, il semble avoir été accompagné de dissolvants puissamment corrosifs, qui ont attaqué le quartz déjà cristallisé ; les petits grains bi-

---

(1) En voici quelques exemples : *Granite à grands cristaux* de Saint-Quentin à Gelles (Puy-de-Dôme).

Granite pegmatoïde de Raon-l'Étape ; *pegmatite* rose des Bruyères, près Luzy ; *elvan granitique* de Vaury (Haute-Vienne), de Saint-Michel (Cornouailles) ; *elvan porphyrique* de Lavergne, près Vaury (Haute-Vienne).

Porphyres quartzifères de Sillé-le-Guillaume, de Lucenay-l'Évêque, des Forges, près Saint-Honoré (micro-pegmatite à étoilements), de Montreuillon, de Saint-Magnance, du Niddeck.

pyramidés de quartz des elvans sont comme guillochés à la surface, et le mica blanc en tapisse les plus petites anfractuosités.

Le mica blanc a été signalé dans un grand nombre de roches récentes (1), et plusieurs auteurs ne le considèrent plus comme exclusif aux roches anciennes. M. Cohen le signale dans le porphyre du Wagenberg (Odenwald) (2), M. Kalkowsky dans plusieurs des porphyres de la Saxe, et notamment dans celui de Freiberg (Himmelfahrt, Muldene Hütte) (3).

Ce dernier exemple nous paraît douteux; nous avons recueilli sur place de nombreux échantillons de ce porphyre et leur étude microscopique nous induit à le rapprocher en tous points du porphyre de La Porte, près Sainte-Pérouse (Nièvre), dont la *fig.* 12, Pl. X, est une reproduction; c'est une roche sphérolitique avec globules à extinction, noyés dans une pâte granulitique. La substance claire, micacée, qui se pare, sous les Nicols croisés, des plus brillantes couleurs et que contiennent un grand nombre d'autres porphyres de même nature (4), nous paraît être du talc: nous avons décrit ailleurs (5) les caractères qui nous y induisent. En fait, la distinction entre le talc et le mica blanc est des plus délicates au microscope; ainsi M. von Lasaulx a signalé du talc dans l'elvan de Pranal où nous croyons avoir vu du mica blanc.

On ne peut affirmer la nature de l'un de ces deux minéraux que lorsqu'il se trouve, dans la roche étudiée ou dans ses congénères, à l'état de cristaux macroscopiques, avec leurs propriétés bien connues et bien définies: or,

---

(1) Von Lasaulx, *Éléments de pétrographie*, *l. c.*, p. 59.
(2) Odenwald, *l. c.*, p. 110.
(3) Porphyres de la Saxe, *l. c.*, p. 43.
(4) Porphyres de la Chaise, près la Coloncelle, de Sillé-le-Guillaume, de Saint-Germain-Laval, etc.
(5) *Caractères microscopiques des roches acides*, *l. c.*, p. 212.

nombre d'elvans contiennent du mica blanc en abondance et bien visible à l'œil nu ; d'autre part, plusieurs porphyres proprement dits présentent de nombreuses lamelles de talc, très-reconnaissables à première vue; citons entre autres le beau porphyre de l'établissement des bains à Saint-Honoré (Nièvre); cependant au microscope on le croirait rempli de mica blanc, n'étaient les autres caractères et la structure de la roche.

Ajoutons que le talc joue dans ce dernier cas le rôle du mica blanc des elvans, et que sa consolidation paraît postérieure même à celle du quartz récent.

Le mica blanc n'est pas d'ailleurs spécial aux granulites ; on en trouve presque constamment dans les granites plus anciens, mais il y est moins abondant. Les roches granulitiques récentes et même certains trachytes en contiennent indubitablement.

CHAPITRE IX.

STRUCTURE GRANITIQUE.

Si l'on suppose aux forces cristallines une intensité suffisante pour prolonger l'état de mobilité relative des molécules au delà de la structure granulitique, les substances similaires continueront à se grouper entre elles, et l'on arrivera aux grandes plages de quartz récent, à contours irréguliers, qui caractérisent la structure granitique. Ici le microscope n'a fait que confirmer et étendre les données que l'examen à l'œil nu avait déjà établies ; ainsi, il est depuis longtemps acquis que le quartz est l'élément qui s'est consolidé le dernier dans les granites.

Quartz récent. — Sous les Nicols croisés, tantôt les plages de quartz se montrent cristallographiquement orientées dans une même direction, sur une grande étendue ; tantôt, au contraire, elles paraissent en partie composées d'éléments granulitiques juxtaposés ; ce dernier cas est fréquent dans les granites syénitiques où le quartz récent est sou-

vent associé à de nombreux débris de mica noir, d'amphibole et de sphène. La *fig.* 21, Pl. XII, représente un granite syénitique des environs de Cañon-City (Colorado), qui ne diffère pas sensiblement de celui des Vosges ou de l'Allier.

Feldspath récent. — Le quartz n'est pas le seul élément qui joue le rôle de magma dans les granites; nous y avons aussi rencontré constamment un feldspath récent avec fines traînées de quartz ou d'albite, qui répond aux descriptions que nous avons données plus haut à propos des granulites; tantôt ce feldspath est de l'orthose, tantôt il reproduit les caractères des mélanges d'orthose et de microcline.

La présence bien constatée de ces feldspaths récents dans un grand nombre de granites, nous paraît d'une grande importance théorique; car elle rattache le magma de ces roches à celui des séries précédentes : ici encore, lorsque la roche s'est épanchée, sa partie fluide se composait d'éléments feldspathiques avec excès de silice.

Le feldspath récent des granites a moulé de nombreux cristaux anciens; il a exercé une action corrosive des plus remarquables sur les débris feldspathiques qu'il englobe : ces derniers sont par places arrondis, mamelonnés, et pénétrés à son contact par de petites infiltrations vermiculaires qui leur forment bordure. Bien qu'elles rappellent par leur aspect général les formes des micro-pegmatites, on les en distingue facilement; car les infiltrations sont composées de canaux sinueux et irréguliers.

La substance qui les remplit est orientée suivant quelques directions cristallines principales; aux très-forts grossissements, elle a les caractères de limpidité du quartz, et présente quelquefois des inclusions liquides. La *fig.* 22, Pl. XII (granite de Vire), en donne un exemple.

On trouve dans plusieurs granulites les mêmes phénomènes, et c'est toujours au contact des feldspaths albitiques récents avec les débris feldspathiques anciens qu'on les découvre; il est naturel de supposer qu'ils sont en relation

intime avec la nature souvent siliceuse des feldspaths récents (1).

Quartz ancien. — On voit qu'en résumé la seule différence jusqu'à présent constatée entre les granites et les granulites est, outre la grosseur moyenne du grain, l'irrégularité de contour des plages de quartz récent.

Il faut y joindre la rareté des cristaux de quartz ancien. L'étude comparative des différents granites est encore peu avancée, et, eu égard à l'importance que toutes les manifestations de la silice ont dans les roches acides, il convient de prendre ce dernier caractère en grande considération.

MM. Rosenbusch et Blum ont, les premiers, signalé la présence de grains bipyramidés de quartz dans des granites authentiques (2). Nous en avons observé dans les granites gris à grains assez fins de Vire, de Guéret, de la carrière de pavés de Limoges et dans le granite réputé fondamental des Vosges (3), qui leur est identique. Toutes ces roches sont d'ailleurs assez riches en mica blanc, et il est à remarquer qu'au point de vue théorique, les granites à quartz ancien ont dû être moins chargés de dissolvants que ceux dans lesquels toute la silice en excès est restée mobile

---

(1) Voici la liste des principales roches qui nous ont présenté nettement des phénomènes d'infiltration :

Granites anciens de Montebras (orthose), de Gelles (orthose-microcline).

Granites porphyroïdes (avec grains bipyramidés de quartz ancien) de Vire, de Guéret, de Limoges (orthose).

Granites pegmatoïdes (Cordier), voisins des granulites, de Baveno, du Hirschberg, de Raon-l'Étape (orthose simple et orthose avec microcline).

Granulites de Central City (Colorado), etc., etc.

(2) *Rosenbusch; mineralogische und geognostiche Notizen von einer Reise in Südbräsilien*, p. 25, Freiburg, 1870.

(3) Ce granite est très-développé aux environs de Remiremont; en vue de la station de Saint-Nabord, il empâte des fragments des leptynites anciennes qu'il a soulevées; on l'exploite pour pavés dans de nombreuses carrières, entre Saint-Amé et le Saint-Mont.

jusqu'après la consolidation définitive des autres éléments de la roche. Au microscope, les sections hexagonales de quartz ancien se montrent englobées dans les plages de feldspath récent.

Roches intermédiaires.

Nous ne jetterons qu'un coup d'œil rapide sur les divers modes de structure des roches intermédiaires et basiques; aussi bien leur étude au microscope ne paraît-elle pas leur assigner des structures aussi variées qu'aux roches acides, les différents minéraux qui tendent à cristalliser dans leur magma n'ayant pas d'états semi-cristallins comme la silice.

Nous rangeons parmi les roches intermédiaires : une partie des syénites et des diorites; les porphyres noirs (partie des quartz-diorites et des diabases des auteurs allemands) intercalés en puissantes coulées dans les couches inférieures du terrain anthracifère (1); les porphyres bleus (Naumann) en nappes à la base même des terrains houillers supérieurs de la Saxe (Potschappel); un certain nombre de porphyrites vacuolaires permiennes, dont les Vosges nous ont offert de beaux exemples; enfin les trachytes de la série récente, y compris certaines roches du type des grünsteins de Hongrie, et des porphyres bleus à petits grains de l'Esterel.

Structure granitique. — Les syénites et les diorites anciennes avec quartz, que leur composition chimique range parmi les roches intermédiaires, présentent une structure purement cristalline; nous avons déjà signalé que la petite

---

(1) Michel Lévy, Note sur les roches porphyriques du terrain anthracifère, *Réunion extraordinaire de la Société géologique de France, à Roanne*, 24, 1873.

quantité de quartz récent qu'on y observe, entre les grands cristaux de feldspath, loin de constituer des plages uniques, tend au contraire à former des traînées d'aspect granulitique. Sa texture paraît donc en avance sur celle du quartz récent des roches acides contemporaines.

Structures microlitique, fluidale et vacuolaire. — Toutes les autres roches de la série intermédiaire sont caractérisées par la structure fluidale qui, le plus souvent, se combine avec une structure microlitique très-développée ; dans la pâte en partie amorphe, on voit dominer plus ou moins les actions promorphiques par granulations opaques et la texture grenue ; les roches récentes de la série sont souvent vacuolaires et leurs vacuoles sont étirées dans le sens de la fluidalité.

1°) Dans les *porphyres noirs*, nous connaissons tous les passages entre la structure presque granulitique sous les Nicols croisés (1), et les structures fluidales en masse (2) ou par microlites (3).

Quelquefois ces diverses structures se montrent par zones accolées dans la même plaque ; parfois aussi la fluidalité est tellement marquée qu'elle est très-visible à l'œil nu (4).

Les brèches sont fréquentes dans la série des porphyres noirs ; on les a prises longtemps pour des grès métamorphiques ; la *fig.* 23, Pl. XII, qui représente une des brèches anthracifères de la Loire (la Gayetière, près Régny), montre que leur origine éruptive n'est pas douteuse, et que la roche a gardé l'empreinte de l'état fluide où elle s'est épanchée.

2°) Les *porphyres bleus* de la Saxe ont été signalés depuis longtemps par Vogelsang (5) comme présentant une asso-

(1) Porphyres de Dietz (Nassau), de Fridifont (Loire), de Quenast, etc.

(2) Porphyres d'Elfdalen (Suède),

(3) Châteauneuf (Puy-de-Dôme).

(4) Hameau du Gain, commune de Remilly, au sud de Saint-Honoré.

(5) *Philosophie der Geologie*, p. 152.

ciation très-marquée de la fluidalité par microlites et en masse. Leur pâte est plus vitreuse que celle des porphyres noirs.

3°) Plusieurs des porphyrites violettes, intercalées dans les couches permiennes, se rapprochent de la série intermédiaire par leur teneur en silice ; M. Haarmann (1) a signalé la présence de l'orthose dans certains mélaphyres. Les plus acides d'entre eux sont doués d'une structure fluidale par microlites extrêmement développée ; elle se combine avec une texture amygdaloïde à remplissage d'agate et de calcite.

4°) La structure la plus habituelle des trachytes est, elle aussi, la fluidalité par microlites ; elle s'allie à une pâte vitreuse généralement très-peu abondante, mais dont l'existence constante est affirmée par M. Zirkel (2) ; la structure vacuolaire y est souvent très-prononcée.

La tridymite (vom Rath) se présente fréquemment dans les vacuoles de la pâte des trachytes ; cette forme cristalline si spéciale de la silice, avec les minces lamelles hexagonales et la faible densité (2,28 à 2,36) qui la caractérisent, n'a pas encore eté signalée dans les roches des séries anciennes. Elle est fréquemment associée à l'opale et a pu être reproduite artificiellement par fusion de la silice ou de l'adulaire dans le sel de phosphore (3).

On voit que les roches de la série intermédiaire sont caractérisées par la rareté de la structure pétrosiliceuse qui ne se présente que dans quelques porphyres noirs passant aux porphyres acides ; on doit en conclure à l'absence du phénomène sphérolitique dans la série, et c'est en effet ce que sa pauvreté en silice permettait de préjuger.

Quelle est la nature intime des microlites de la pâte des

---

(1) *Structur u. Zusammensetzung der Melaphyre*, Leipzig. 1872.
(2) *Mikrosk. Beschaffenheit, l. c.*, 386.
(3) G. Rose, *Académie des sciences de Berlin*, juin 1869.

roches intermédiaires? La plupart sont feldspathiques sans aucun doute; quelques trachytes contiennent en outre des microlites de hornblende. Ceux de felspath s'éteignent souvent suivant leur longueur comme l'orthose; mais il convient de rappeler que les récents travaux de M. Des Cloizeaux permettent d'attribuer ce caractère à certains microlites d'oligoclase, et que ceux d'albite s'éteignent aussi dans une direction très-voisine.

Les notices de M. von Lasaulx sur les roches volcaniques de l'Auvergne, récemment traduites et réunies par M. F. Gonnard (1), ont établi, avec la plus grande netteté, la remarquable continuité que présente la série de ces roches au point de vue de leur composition chimique. Elles passent graduellement du type basaltique le plus franc au type trachytique proprement dit, et M. von Lasaulx, s'appuyant sur de nombreuses analyses chimiques et aussi sur les caractères de leurs microlites, les distingue en roches à anorthite, à labrador, à andésine, à oligoclase et enfin à sanidine.

Bien que nous ne puissions voir là, comme l'auteur, une confirmation de l'hypothèse de M. Tschermak sur les mélanges feldspathiques, les conclusions de M. von Lasaulx nous paraissent rapprocher intimement, au point de vue géologique proprement dit, les roches intermédiaires des basiques.

Il est extrêmement remarquable en outre que M. von Lasaulx ait été amené à attribuer des représentants de tous ces passages non-seulement aux roches volcaniques relativement anciennes des Monts-Dores, mais encore à celles de la chaîne des Puys, et souvent même à une série de coulées provenant d'un cratère unique.

---

(1) *Mémoires de l'Académie de Clermont*, 1874.

Roches basiques.

Structures microlitique, fluidale et vacuolaire. — Le fait dominant, dans la structure des roches basiques, est d'abord la grande analogie que présente toute la série ; la tendance à la cristallisation du magma tout entier y est évidente ; tantôt cette prise en masse par cristallisation a lieu confusément et présente un aspect enchevêtré, tantôt les traces de la fluidalité primitive de la roche sont encore bien visibles, et les petits cristaux s'orientent comme dans les roches intermédiaires ; les séries récentes sont souvent vacuolaires.

Structure cristallitique. — Les diorites et les gabbros anciens ne présentent aucune trace de pâte amorphe ; toutes les autres roches basiques admettent un fond de pâte vitreuse, à la façon des tachylites, qui ont fourni à Vogelsang les plus beaux exemples de cristallites naturelles.

L'examen microscopique de la structure des roches basiques, loin de multiplier les termes de comparaison comme pour les roches acides, paraît au contraire singulièrement rapprocher les roches basiques entre elles, et conduire à la conclusion qu'elles ont toutes pris naissance dans des conditions analogues : les auteurs allemands reconnaissent l'identité de structure des mélaphyres et des basaltes ; ils ont confondu dans leur description tous les mélaphyres entre eux, et cependant l'examen à l'œil nu permet d'y faire au moins deux grandes divisions, entre ceux qui se rapprochent du porphyre vert antique et ceux dont le type se rapporte aux mélaphyres permiens.

Les mélaphyres provenant de la carrière Michel, près Raon-l'Étape, sont difficiles à distinguer à l'œil nu de certaines variétés de porphyres noirs ; or, sous le cimetière de Raon-l'Étape, les mêmes roches se montrent bréchiformes et passent aux mélaphyres verts des Vosges.

La *fig.* 24, Pl. XII, est la reproduction d'un mélaphyre vacuolaire de la Petite-Fosse, près Saint-Dié, au pied du bois des Faîtes. Elle donne un exemple de la structure microlitique enchevêtrée.

Résumé relatif aux roches acides.

Structure des roches acides. — Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur les structures des roches éruptives acides et sur les causes de leurs modifications, nous nous résumerons en disant que leur texture intime est une conséquence immédiate de l'état plus ou moins individualisé de la silice en excès que renferme leur magma.

Quand cette silice est intimement mêlée aux autres éléments composants, la pâte est amorphe ou même vitreuse et les structures *fluidale* et *perlitique* s'y développent seules.

Un premier degré de spécification des éléments de la pâte amène la formation des *cristallites*, des *microlites* et de la substance *pétrosiliceuse*.

Tout semble prouver que cette dernière substance partage les propriétés de la silice encore très-divisée, mais déjà semi-cristalline, qui s'y est isolée, soit à l'état d'opale, soit à l'état de calcédoine, et la structure *sphérolitique* commence à s'allier aux précédentes.

La structure pétrosiliceuse se forme dans les roches lorsqu'elles sont encore pâteuses, et avant la production des fissures perlitiques.

A la série des *micro-pyromérides avec globules à croix noire*, sous les Nicols croisés, succède celle dont *les globules s'éteignent tout entiers à la fois;* la silice en excès s'est transformée en quartz récent entièrement cristallisé, qui imprègne les globules pétrosiliceux autour des débris de quartz ancien et qui s'est orienté comme ce dernier.

Puis la spécification des éléments continue sa marche croissante, et nous passons sans transition brusque aux *micro-pegmatites à étoilements*, dans lesquelles le quartz et le feldspath récents ont cristallisé simultanément, la cristallisation du magma semblant d'ailleurs se propager à partir de centres qui sont encore les débris de quartz ancien.

Ici tous les éléments du magma sont cristallisés, et l'on passe par gradations insensibles à un état où le quartz récent, plus longtemps mobile, se dégage enfin de sa gangue pétrosiliceuse ou feldspathique, et revêt les formes cristallines qui lui sont propres : telle est la structure des *micro-granulites* avec quartz récent en grains bipyramidés auxquels le felspath récent lui-même paraît, par places. antérieur.

Des micro-granulites, nous passons à la classe importante des *granulites* sans changer de structure, par une simple augmentation de grosseur dans le grain. Nous avons noté la richesse de cette série en mica blanc récent, plus récent même que le quartz ; elle comprend la plupart des pegmatites.

La grosseur des éléments dans les granulites permet d'étudier le *feldspath récent* plus facilement que dans les séries précédentes. Tantôt il est composé d'*orthose*, tantôt l'orthose est maclé avec de fines lamelles d'un feldspath triclinique, qui, d'après les récentes études de M. Des Cloizeaux, est du *microcline*. Il est généralement traversé par de minces veinules qu'on doit rapporter soit à un *quartz de contraction*, dont l'axe serait parallèle au plan de symétrie de l'orthose, soit au plus acide des feldspaths, l'*albite*.

Le *feldspath récent* exerce une action corrosive et infiltrante sur les cristaux de feldspath ancien qu'il englobe; *ces infiltrations* paraissent quartzeuses et sont ainsi en relation avec l'excès de silice que présentait le feldspath récent jusqu'au moment de sa prise en masse.

Nous arrivons enfin à la structure *granitique* dans

laquelle le quartz récent, entièrement affranchi de ses gangues, ne s'astreint même plus à ses propres formes cristallines ; il se présente en grandes plages irrégulières, et se moule sur tous les autres éléments de la roche.

Toutes les remarques relatives au feldspath récent des granulites, s'appliquent à celui des granites, et c'est dans la présence ou l'absence de quartz ancien, antérieur au feldspath récent, que nous avons cherché les éléments d'une classification de la série granitique.

Quand ce *quartz ancien* existe, il est en cristaux bipyramidés, et paraît témoigner que la roche était déjà moins riche en dissolvants, lors de son épanchement.

On voit que les mots *granite*, *granulite*, *pegmatite*, *pyroméride*, ont un sens bien déterminé et correspondent chacun à une structure spéciale ; on ne peut en dire autant du mot *porphyre*, qui a été appliqué à une série de roches à structures variées.

Relations entre la structure et l'âge des roches acides. — Nous avons cherché dans une précédente note (1) à établir les relations qui lient cette longue suite de structures diverses avec l'âge géologique des roches éruptives qui les présentent ; nos conclusions ont été celles qu'Élie de Beaumont avait déjà formulées à propos des *émanations volcaniques et métallifères* : l'activité chimique du globe a été en diminuant durant les temps géologiques (2). Les roches acides ont apporté avec elles des dissolvants de moins en moins énergiques, dont l'effet a été d'individualiser de moins en moins la silice en excès de leur pâte. Nous remarquerons que les diverses formes sous lesquelles se présente ainsi successivement la silice, quartz cristallisé, calcédoine opale et tridymite, ont une densité qui va en diminuant.

---

(1) *Caractères microscopiques des roches acides*, *l. c.*, 228.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV, 1847.

Un fait important à noter est que la variation des dissolvants se produit par périodes parallèles : nous avons en effet trouvé que des granites les plus anciens aux pechsteins triasiques, il y avait une remarquable continuité dans les changements de structure qui caractérisent les éruptions successives de roches acides ; elles se présentent précisément dans l'ordre inverse de celui qui a été adopté dans cette note pour la commodité de la description. Une seconde période commence aux prétendus granites tertiaires qui sont en réalité des granulites, des micro-granulites et des micro-pegmatites (granites, porphyres et pegmatites du Var, de l'île d'Elbe, de l'Italie et de l'Algérie) et se continue jusqu'aux liparites et aux perlites, dont l'analogie est grande avec les porphyres permiens et les pechsteins.

On avait déjà comparé la période tertiaire aux périodes triasique et permienne, au point de vue des émanations métallifères et des dépôts salins interstratifiés (1) ; au point de vue des roches éruptives, il conviendrait plutôt de le comparer à une réduction de toutes les périodes géologiques depuis les plus anciennes jusqu'au trias (2).

(1) Sur l'analagie du trias et du tertiaire, Cs. M. Grüner, *Minerais de manganèse des Pyrénées*, *Ann. des Mines*, t. XVIII, 6., 1850.

(2) M. de Chancourtois, dans son cours professé à l'École des mines, a développé cette comparaison, étage par étage, au point de vue des terrains stratifiés.

EXPLICATION DES PLANCHES VIII A XII.

Légende commune à toutes les figures.

Cristaux en débris.

1 Fer oxydulé, titané, ou oligiste.
2 Tourmaline ou olivine.
3 Amphibole.
4 Mica noir magnésien ou chlorite.
5 Sphène.
6 Quartz bipyramidé.
7 Feldspaths tricliniques.
8 Mélange d'orthose et de microcline.
9 Orthose ou sanidine.
10 Sanidine chatoyante.

Éléments d'un magma semi-cristallin.

11 Granulations opaques, brunes ou rouges.
12 Pâte avec cristallites.
13 Microlites généralement feldspathiques.
14 Matière pétrosiliceuse sous forme de traînées.
15 Matière pétrosiliceuse des sphérolites à croix noire.
16 Matière pétrosiliceuse des sphérolites à extinction.
17 Agate herborisée et concrétionnée.
18 Zones fluidales.
19 Fissures perlitiques.
20 Calcédoine.
21 Matière stéatiteuse verdâtre des fissures perlitiques.

Éléments d'un magma entièrement cristallisé.

22 Orthose.
23 Mélange d'orthose et de microcline.
24 Quartz ou albite de contraction du feldspath récent.
25 Quartz d'infiltration du feldspath ancien.
26 Quartz pegmatoïde.
27 Quartz granulitique.
28 Quartz granitique.

29 Mica blanc.

30 Talc et serpentine.

Défauts dans les plaques.

31 Trous et vacuoles dus au polissage.

Confection et gravure des photographies microscopiques de plaques minces.

Les figures jointes à ce mémoire sont la reproduction de photographies obtenues au moyen d'appareils sortant des ateliers de M. Nachet; pour les projections, on s'est servi des objectifs n° 0,1 et 2. La reproduction des négatifs a été faite par le procédé de photogravure sur cuivre Goupil et Cie. Il n'a été pratiqué aucune retouche de détail sur les cuivres obtenus au moyen de la galvanoplastie.

Un certain nombre de ces photographies a nécessité l'emploi de la lumière polarisée ; tantôt les Nicols ont été entièrement croisés et leurs plans principaux disposés à 90° l'un de l'autre; tantôt, pour éviter une trop grande extinction des rayons lumineux, on a diminué l'angle compris entre les plans principaux des Nicols: l'orientation de ces plans est indiquée par deux lignes, l'une marquée d'un P pour le polariseur, l'autre d'un A pour l'analyseur. On rappellera ici que les cristaux, teintés en jaune, viennent noirs à la photographie.

Pl. VIII, *fig.* 1 (voir p. 355). — **Porphyre violet d'Hérival (Vosges).** — **Magma semi-cristallin. Structures fluidale et bréchiforme. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.**

L'échantillon a été recueilli à la scierie d'Hérival, dans les blocs qui bordent le chemin passant d'une rive à l'autre du vallon.

Gisement (1). — Le chemin qui longe la rive droite (nord) du vallon d'Hérival est, jusqu'à l'étang de la scierie, situé dans les roches granitiques anciennes, dont les affleurements paraissent monter assez haut, tandis que la rive gauche (sud) présente, à la même altitude, les assises du grès rouge. La faille qui a descendu

---

(1) Les observations, relatives au gisement de cette roche ont été recueillies dans une course faite avec M. Douvillé, ingénieur des mines.

toute la rive gauche de ce vallon se trouve exactement dans le prolongement du grand filon de quartz des arkoses du bois de la Vêche, dont on peut suivre les affleurements jusqu'au-dessus de la cascade de Faymont ; la direction générale de la fracture, de ce point à Hérival, sur plus de 6 kilomètres de longueur, est N. 63° E.

Les affleurements du porphyre violet la jalonnent de l'étang d'Hérival au ravin du moulin du Géhard ; la nouvelle route qui monte de la scierie du Breuil vers la Croisette, coupe le filon porphyrique en un point où, puissant d'environ 20 mètres, il est déjà fortement imprégné de quartz et traversé par une multitude de veinules de calcédoine ; on peut suivre cet affleurement jusqu'au fond du ravin transversal du Géhard, et sa rive gauche (ouest) montre avec netteté le passage brusque des grès aux roches granitiques anciennes. A la carrière des roches, voisine de Faymont, dans le val d'Ajol, le quartz des arkoses domine et produit un puissant affleurement en saillie sur les roches voisines ; il contient cependant encore d'assez nombreux débris de porphyre violet englobés dans sa masse.

Il est très-remarquable qu'une même fracture rectiligne, qui a dû rejouer plusieurs fois, contienne successivement le porphyre violet que nous étudions, puis une brèche de ce porphyre dans un puissant remplissage de quartz des arkoses.

Le porphyre violet des Aubeux, dont la direction paraît à peu près perpendiculaire à la précédente, est très-analogue au porphyre d'Hérival ; ses affleurements, qui percent les couches du grès rouge, montent du fond du val d'Ajol jusqu'à peu de distance des couches du grès bigarré.

La nature éruptive de ces roches porphyriques, souvent décrites comme appartenant aux arkoses du grès rouge, ressort avec évidence des circonstances qui accompagnent leur gisement et se trouve d'ailleurs confirmée par leur examen microscopique. L'âge de leur éruption paraît compris entre les couches du grès rouge qui leur sert de salbande, et le grès bigarré, qu'elles ne traversent pas.

Examen macroscopique. — Le porphyre d'Hérival se montre, à l'œil nu, composé de nombreux débris à angles aigus, comprenant des roches granitiques anciennes, des porphyres violets plus ou moins foncés, des argilolites de couleur claire. La pâte, d'un rouge violacé, est franchement rugueuse et trachytique ; elle contient des débris d'un feldspath blanchâtre vitreux, du quartz en petits grains brillants, et de petites lamelles de mica vert.

Examen microscopique. — Sous les Nicols croisés, la roche

d'Hérival s'éteint presque entièrement et montre à peine par place une tendance à l'état grenu. (V. p. 384.) A la lumière naturelle, les structures fluidale et bréchiforme sont le fait dominant : la fluidalité est jalonnée par de très-fines granulations ferrugineuses opaques, d'un rouge vif par réflexion, et dont les différents débris de la brèche sont plus ou moins chargés, de telle façon qu'on reconnaît facilement les débris similaires ; cette apparence rappelle entièrement celle de plusieurs pechsteins de la Saxe et notamment de la roche de Spechsthausen, près Tharandt.

Pour bien observer par transparence les parties les plus chargées de ces fines granulations, il faut préserver, au moyen d'un écran, la plaque de la lumière réfléchie ; sans cette précaution, il se produit une forte illumination (v. p. 367) qui efface les détails.

Les différents éléments de la brèche et la pâte elle-même contiennent çà et là des débris de sanidine (9), de quartz (6) et de mica vert (4).

Un échantillon, recueilli près de la scierie du Breuil, nous a présenté, au milieu de la brèche habituelle, quelques débris de porphyrite violette, fluidale par microlites.

Pl. VIII, *fig.* 2 (voir p. 358). — Perlite de Hlinik, près Schemnitz (Hongrie). — Magma semi-amorphe. Structures fluidale par microlites, pétrosiliceuse et sphérolitique. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Examen macroscopique. — L'échantillon étudié est d'un gris bleuâtre ; sa cassure fraîche rappelle celle de certains pechsteins ; on y distingue à l'œil nu de nombreux petits sphérolites jaunâtres et des filets minces d'une substance pétrosiliceuse blanche par réflexion, brune par transparence. La roche se montre en outre très-chargée de petites paillettes brillantes de mica brun.

Examen microscopique. — Nous renvoyons à la page 358 de ce mémoire, pour l'étude microscopique des plaques minces de cette roche. Le grossissement de la *fig.* 2 est trop faible pour permettre de distinguer individuellement les innombrables microlites transparents qui jalonnent la fluidalité très-apparente de cette perlite ; mais on y voit nettement les zones fluidales traverser sans déviation un globule pétrosiliceux (15), bien rayonné et donnant la croix noire sous les Nicols croisés. Au contraire, les plus petits débris de cristaux anciens, feldspath triclinique (7) ou mica brun (4), produisent des remous visibles dans les courants fluidaux de microlites. Les traînées (14) et les sphérolites de matière pétrosi-

liceuse présentent ici à un très-haut degré le phénomène d'illumination sous la lumière réfléchie.

Pl. VIII, *fig.* 3 (voir p. 363). — Pechstein du col de Grane, près Fréjus (Var). — Magma semi-amorphe. Structures perlitique et cristallitique. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Gisement. — En veines irrégulières dans les porphyres bruns permiens de l'Esterel (1).

Nous renvoyons pour la description *macroscopique* et *microscopique* de cette roche à la page 363 de ce mémoire. La variété, qui a donné la photographie n° 3, a une cassure franchement résineuse, rouge et verte. Ses plaques minces présentent une pâte vitreuse remplie de trichites, de globulites et de cristallites ; les fissures perlitiques s'y montrent tangentes à un réseau de fissures rectilignes que l'on peut considérer comme le résultat d'un premier fendillement de la roche. Ça et là on aperçoit quelques débris anciens de sanidine (9) et quelques grains très-fins de quartz.

Pl. VIII, *fig.* 4 (voir p. 366). — Pechstein des environs de Fréjus. — Magma semi-amorphe. Structures perlitique, fluidale et pétrosiliceuse. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Même *gisement* que la roche précédente.

Nous renvoyons pour la description *macroscopique* et *microscopique* de cette roche à la page 366 de ce mémoire. La variété qui a donné la photographie n° 4 est verte, pierreuse, avec de nombreuses traînées d'une substance pétrosiliceuse brunâtre. Elle contient quelques débris de sanidine chatoyante (10) en très-petits cristaux, et des grains arrondis de quartz (6). Les traînées pétrosiliceuses (14) (2) sont douées d'une forte illumination dans la lumière réfléchie ; on les voit fréquemment bordées par une zone mince entièrement concrétionnée. Les fissures perlitiques (19) leur sont régulièrement tangentes.

Pl. VIII. *fig.* 5 (voir p. 368). — Pyroméride de Gargalong, près Fréjus. — Magma semi-cristallin. Structures perlitique et sphérolitique. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Même *gisement* que les pechsteins voisins.

Nous renvoyons pour la description *macroscopique* et *microsco-*

(1) Renseignements donnés par M. Potier, ingénieur des mines.

(2) Marquées (13) par erreur sur la *fig.* 4.

pique de cette roche à la page 368 de ce mémoire. Elle se compose de nombreux sphérolites réticulaires (1), c'est-à-dire à double texture concentrique et radiée, d'un blanc rosé, noyés dans une pâte verte rugueuse. La calcédoine (20) et l'agate (17) y abondent. Ici encore les fissures perlitiques sont nettement tangentes à la substance pétrosiliceuse des globules.

Pl. IX, *fig.* 6 (voir p. 364). — Porphyre agatoïde (2) du col de Grane, près Fréjus. — Magma semi-cristallin. Structure pétrosiliceuse concrétionnée. Lumière polarisée, Nicols à 45° ; grossissement : 30 diamètres.

Même *gisement* que les pechsteins voisins.

Nous renvoyons pour la description *macroscopique* et *microscopique* de cette roche à la page 364 de ce mémoire. Elle contient des débris de quartz (6), de sanidine chatoyante (10), et de fer oligiste (1) à éclat métallique, opaque, non magnétique. Ces cristaux anciens sont noyés dans une pâte agatoïde (17), entièrement concrétionnée en certains points et fortement colorée en rouge vif par de fines granulations ocreuses (11). Ces granulations donnent à la pâte la propriété de s'illuminer dans la lumière réfléchie.

Pl. IX, *fig.* 7 (voir p. 369). — Pyroméride de Wuenheim (Alsace). — Magma semi-cristallin. Structures perlitique et sphérolitique. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Nous renvoyons pour la description *macroscopique* et *microscopique* de cette roche à la page 369 de ce mémoire. La pyroméride de Wuenheim présente une pâte tantôt rouge, tantôt grise, avec parties vertes ; c'est une variété grise et verte cornée qui a donné la photographie n° 7 ; les globules grisâtres, avec noyau plus blanc, sont très-réguliers et ont un diamètre moyen de 4 millimètres environ (15).

L'intérieur des pseudo-globules constitués par les fissures perlitiques, dans la pâte englobant les véritables sphérolites, se montre relativement clair à la lumière naturelle ; sous les Nicols croisés, il se décompose en une multitude de granules brillants, généralement jaunes, dont plusieurs présentent les caractères du quartz granulitique (27) ; la formation de ce quartz paraît postérieure à celle des fissures perlitiques.

(1) Sur les sphérolites réticulaires, voir von Lasaulx, *Pétrographie*, III, 1875.

(2) Sur les porphyres agatoïdes, voir Cordier, *Description des roches*, 85.

Entre ces pseudo-globules, la pâte est finement pointillée et les Nicols croisés l'éteignent considérablement en la guillochant de petits points bleuâtres, comme certaines variétés de calcédoine (20). Les fissures perlitiques elles-mêmes sont remplies de stéatite ou de calcédoine ; elles sont nettement tangentes à la matière pétro-siliceuse des sphérolites.

Pl. IX, *fig.* 8 (voir p. 376). — Porphyre brun de Tharandt (Saxe). — Magma semi-cristallin. Structures fluidale et sphérolitique avec globules à croix noire. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Gisement. — Le porphyre de Tharandt s'est épanché en masse sur le gneiss et les schistes argileux de la Saxe ; il est recouvert par les couches du Quadersandstein ; le bassin houiller de Plauen, très-riche en conglomérats porphyriques, ne contient de galets de ce porphyre que dans les couches supérieures du grès rouge local.

Examen macroscopique. — L'échantillon qui a donné la photographie n° 8, provient des environs de Grüllenburg. Dans une pâte d'un brun foncé, cornée, très-esquilleuse, on aperçoit des traînées grenues, cristallines ; de petits grains hyalins de quartz ; de l'orthose en petites lamelles brunes plus claires que la pâte, et un feldspath vitreux incolore, dont quelques lamelles sont tricliniques ; il y a en outre une substance verte, terne, en très-petits débris, et des fragments de schistes micacés.

Examen microscopique. — Au microscope, le porphyre de Tharandt se montre fluidal (18) ; la fluidalité est jalonnée par de fines granulations brunes (11), qui s'accumulent sur une des faces des cristaux en débris, comme Vogelsang en a fait la remarque (voir page 355 de ce mémoire); aux Nicols croisés, l'extinction est considérable ; il y a seulement par places quelques indices d'un état grenu.

Les traînées cristallines, déjà visibles à l'œil nu, sont dirigées dans le sens général de la fluidalité ; elles constituent les accidents en forme de boutonnière, qui sont décrits page 375 : au centre, on voit du quartz récent en granules juxtaposés d'orientations différentes (27), qui moule de petits cristaux d'orthose récent (22), souvent disposés en rayons autour d'un noyau sphérolitique très-chargé de granulations opaques. Sur les bords, le bourrelet marginal se décompose entièrement sous les Nicols croisés en sphérolites à croix noire (15).

Ces traînées contournent, comme les zones fluidales, des cristaux anciens en débris : la boutonnière de la *fig.* 8 est ainsi déviée par un cristal d'orthose (9) et par des débris de chlorite (4).

Pl. IX, *fig.* 9 (voir p. 376). — **Porphyre brun de Montreuillon (Nièvre).** — Magma semi-cristallin. Structures fluidale et sphérolitique avec globules à croix noire. — Lumière naturelle ; grossissement : 50 diamètres.

Gisement. — Les porphyres des environs de Montreuillon forment une puissante enclave au milieu des porphyres houillers du Morvan, dont ils se distinguent en général par des caractères macroscopiques assez constants ; MM. Bertera et de Chancourtois, dans leur carte géologique de la Nièvre, ont désigné la plus grande masse des porphyres de Montreuillon sous le nom de porphyres quartzifères, tandis qu'ils donnaient le nom de porphyres pétrosiliceux aux roches houillères voisines. On peut discuter cette dénomination ; car, en fait, les porphyres de Montreuillon montrent, sous le microscope, la structure pétrosiliceuse et les caractères des roches permiennes, tandis que les porphyres houillers voisins sont, en général, des micro-pegmatites et des micro-granulites entièrement cristallisées. Mais la séparation des deux espèces de formations est justifiée et l'examen microscopique permettra peut-être d'en préciser les contours de détails.

On suit, dans une direction N. 123° E., les traces de ces porphyres permiens, depuis la Colancelle au N.-O., jusqu'aux environs de Château-Chinon, des Gourys aux Mouilleferts, au S.-E. En ces points extrêmes, ils paraissent en filons dans les porphyres houillers et dans les roches granitiques anciennes ; mais aux environs de Montreuillon, ils forment de grandes masses qui s'élèvent jusqu'à l'altitude de 400 mètres.

De l'aqueduc de Montreuillon à la roche de Belvau, près Chandelier, en passant par le Haut-Mont, ces porphyres sont surtout fluidaux ; au N.-O (carrière des Touaux, près Reviry), et au S.-E. (carrière de Montchérus), on trouve de très-belles variétés sphérolitiques ; les roches analogues, à la Colancelle et aux Gourys, sont également globulaires.

Examen macroscopique. — L'échantillon qui a donné la photographie n° 9, a été recueilli entre l'aqueduc de Montreuillon et le Haut-Mont. Dans une pâte brune foncée, très-compacte, on voit des traînées de même couleur grenues, cristallines ; de petits cristaux d'orthose blanc rosé à éclat nacré, et des lamelles feldspathiques vitreuses dont quelques-unes sont striées. Le quartz est en grains brillants ; le coup de marteau dégage souvent des pointements bipyramidés ; il y a en outre une assez grande abondance de petits empilements d'une substance micacée verdâtre, autour de laquelle la pâte se décolore en général.

Dans d'autres variétés de la même roche, les cristaux de feldspath prennent une teinte amarante; souvent aussi la pâte se décolore et passe au gris clair ; la fluidalité devient alors visible à l'œil nu et l'on voit alterner une foule de petites veines roses et grises.

Examen microscopique. — Au microscope, la fluidalité (18), jalonnée par d'abondantes granulations brunes (11), est extrêmement marquée. La photographie n° 9 en rend bien compte et permet de constater qu'elle est accompagnée de traînées plus cristallines analogues aux boutonnières de la *fig.* 8, et sur les bords desquelles se développent des sphérolites à croix noire (15). Sous les Nicols croisés, la pâte s'éteint considérablement, et témoigne seulement par places d'un état grenu peu développé.

A l'œil nu, les angles des petits cristaux bipyramidés de quartz paraissent bien conservés; au microscope, le quartz ancien (6) se montre cependant cassé et corrodé comme d'habitude ; quelques-uns de ses débris ont même une forme très-sinueuse. L'orthose présente à la lumière naturelle, dans des sections parallèles au clivage O, des stries à angle droit ; sous les Nicols croisés, il contient çà et là quelques fines lamelles de microcline (8), maclées suivant les faces I$\bar{1}$, I͡. La substance verte paraît de nature chloritique.

Pl. X, *fig.* 10 (voir p. 375). — Porphyre de Montchérus (Nièvre). — Magma semi-cristallin. Structure sphérolitique avec globules à croix noire. — Lumière polarisée, Nicols à 90° ; grossissement : 120 diamètres.

Gisement. — L'échantillon qui a donné la photographie n° 10, provient de la carrière pour bordures de trottoir et pierre de construction, située au N.-E. de Montchérus, près Montreuillon, au sommet d'un des escarpements qui bordent la rive gauche de l'Yonne. Nous avons signalé plus haut ses relations de gisement avec les roches de Montreuillon.

Examen macroscopique. — Dans une pâte un peu rugueuse, d'un blanc verdâtre éclatant, on distingue des grains bipyramidés de quartz légèrement enfumé ; des cristaux blancs d'orthose et blancs rosés de feldspath triclinique ; enfin de nombreuses petites paillettes d'une substance micacée d'un vert foncé. Les cristaux en débris sont petits et très-abondants. On doit à M. Delesse (1) une analyse de cette roche, à laquelle il assigne une teneur en silice de 71,70 p. 100.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. VI, 638, 1849.

Examen microscopique. — Les cristaux en débris, très-cassés donnent lieu aux mêmes observations que ceux du porphyre de Montreuillon représenté *fig.* 9; ils sont par places charriés en désordre les uns contre les autres, comme dans les roches eurítiques.

La pâte se montre, à la lumière naturelle, composée d'innombrables petites parties limpides à contours indécis, noyées dans un magma finement pointillé de granulations brunes; la substance limpide a une tendance à se coller aux cristaux anciens en débris, feldspath, mica ou quartz indifféremment, et les entoure de petites auréoles irrégulières.

Sous les Nicols croisés, la pâte se remplit d'une foule de petits sphérolites à croix bleuâtre; un grossissement de 250 fois les détaille convenablement : leur diamètre oscille entre 2 et 5 centièmes de millimètre. C'est la substance limpide qui les compose; la partie pointillée de la pâte s'éteint considérablement et se montre finement guillochée de petits dessins gris bleuâtres, comme certaines variétés de calcédoine; elle s'illumine sensiblement à la lumière réfléchie. La pâte contient en outre çà et là quelques granules de quartz récent.

Les sphérolites sont parfois composés de deux zones concentriques distinctes; le plus souvent ils paraissent homogènes à la lumière ordinaire, et sont juxtaposés en nombre considérable, dans une même partie de substance limpide. Les forts grossissements ne permettent pas de distinguer une structure radiée ou concentrique bien nette.

Pl. X, *fig.* 11 (voir p. 377). — **Porphyre rouge de Morcote, près Lugano.** — **Magma semi-cristallin. Structure sphérolitique avec globules à extinction. — Lumière naturelle ; grossissement : 50 diamètres.**

Gisement. — M. B. Studer dans une note récente (1) que nous allons résumer, avant d'en discuter les conclusions, a fait l'historique des travaux auxquels ont donné lieu les roches porphyriques voisines du lac de Lugano.

V. Buch a distingué dans cette contrée des porphyres rouges quartzifères et des porphyres noirs plus récents; il a cru ces derniers analogues aux mélaphyres du Tyrol.

(1) Die Porphyre des Luganersee's, *Zts. der d. geol. Gesell.*, t. XXVII, 2e fascicule, 1875.

En 1833 (1), M. Studer découvre entre Melano et Maroggia plusieurs filons de porphyre quartzifère rouge, traversant le porphyre noir, et en conclut que le porphyre rouge est postérieur au noir.

La même année, MM. F. Hoffmann et A. Escher (2) explorent la presqu'île de Morcote, et y signalent un mélange tellement inextricable de porphyres rouges et noirs que, malgré les filons de Maroggia, ils émettent l'opinion que ces deux roches sont de même âge.

MM. Brünner (3) et Girard (4) vont plus loin, et croient avoir vu des filons de porphyre noir dans le rouge.

Plus récemment MM. Gaëtano Negri et Emilio Spreafico (5) ont considéré, comme d'âge voisin, non-seulement les porphyres précédents, mais encore le granite drusique de Figino, et même les pechsteins de Grantola.

Abstraction faite de la notion d'âge, M. Studer s'élève contre l'assimilation de roches si différentes entre elles au point de vue pétrographique.

M. Fischer a examiné les roches de Lugano au microscope, et n'est pas arrivé à des résultats bien concluants ; il n'a trouvé dans le porphyre rouge que de l'orthose et quelques taches verdâtres pinitoïdes ; le porphyre noir ne contiendrait également comme feldspath défini que de l'orthose ; on y découvre aussi des cristaux verts allongés d'amphibole, du fer oxydulé et de la pyrite magnétique.

M. Studer termine sa dernière note en comparant entre elles diverses analyses des porphyres rouges et noirs de Lugano. En voici les résultats :

---

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 1re série, t. IV, 54.
(2) *Ibid.*, 103.
(3) *Schweiz. Denkschf.* t. XII, 1852.
(4) *Leonh. Jahrb.* 1851, 336.
(5) *Mem. del R. Istituto Lombardo di scienze e lettre*, t. XI, 1869.

ANALYSES DUES A MM.	GARGANTINI PIATTI.		SCHWARZENBACH		VON FELLENBERG.	
	P. noir.	P. rouge.	P. noir.	P. rouge.	P. noir.	P. rouge.
Silice	69,57	84,10	65,471	74,706	61,67	71,74
Alumine.	12,30	10,50	15,154	11,267	16,38	12.64
Fer.	Fe 14,05	Fe 1,10	10,642	4.345	6,31	2,46
Magnésie.	0,49	0,03	0,340	0,360	3,02	1,26
Chaux.	1,50	0,04	1,611	1,641	2,57	2.30
Potasse.	0,25	1,10	3,647	8,894	4,22	4,14
Soude.					3,65	3,41
Protoxyde de Manganèse.	»	»	»	»	0,30	0.54
Eau, matières volatiles.	3,25	1,93	3,101	3,690	3,31	2,59
Totaux.	98,80	101,41	99,903	99,966	101,43	102,[illegible]

La conclusion de M. Studer est que, si l'on tient compte de la présence du quartz libre dans les porphyres rouges, et de son absence dans les porphyres noirs où se trouve au contraire du fer oxydulé, l'analogie chimique des deux séries de roches est vraisemblable, malgré leur incontestable différence d'aspect.

Nous ne pouvons accepter même cette conclusion restreinte : abstraction faite des cristaux en débris, les porphyres noirs de Lugano sont des roches *intermédiaires* à pâte exclusivement feldspathique ; les porphyres rouges sont au contraire franchement *acides* et ont un magma très-riche en quartz récent.

Dans un autre ordre de considérations, nous rappelons que nous avons été amené à assimiler plusieurs roches de Lugano à des porphyres français dont l'âge géologique est bien connu : ainsi les porphyres noirs magnétiques (1) de Maroggia et de Morcote sont identiques avec les porphyres noirs anthracifères de la Loire, du Puy-de-Dôme, du Morvan, des Vosges ; les porphyres rouges sont entièrement assimilables à certains porphyres houillers de la Loire et du Morvan, qui percent nettement les porphyres noirs, et dont les galets se trouvent dans les conglomérats houillers de Decize, de Cortecloux près Autun, etc. Enfin les porphyres bruns à sanidine chatoyante (2), et les pechsteins des environs de Cugliate et Grantola sont absolument analogues à certains porphyres permiens des Vosges, du Morvan, de l'Esterel et de la Saxe. Nous ajoutons encore que l'analyse microscopique des roches de Lugano a enti-

(1) Note sur les roches porphyriques du terrain anthracifère ; réunion extraordinaire de la *Société géologique de France* à Roanne, 24, 1873.

(2) Michel Lévy et Douvillé, granulites et porphyres quartzifères des environs d'Avallon, *Bulletin de la Société géologique de France*, t. II, 195, 1874.

rement confirmé pour nous (1) les assimilations et les séparations précédentes.

I. Les *porphyres noirs* (2), qui sont souvent bréchiformes, se montrent en général au microscope fluidaux en masse ou même par microlites ; ils ont tous les caractères des roches intermédiaires et ne présentent jamais la structure pétrosiliceuse ou sphérolitique. Leurs cristaux en débris sont composés de fer oxydulé, d'amphibole et de feldspath ; ce dernier minéral, rarement frais, est souvent triclinique.

Au voisinage des filons de porphyre rouge de Maroggia, les salbandes en porphyre noir sont remarquablement riches en serpentine concrétionnée de consolidation récente, vraisemblablement due à une décomposition de l'amphibole.

II. Les *porphyres quartzifères rouges et gris* de Lugano présentent au microscope quatre variétés principales dont les structures sont fréquentes parmi les porphyres houillers de tous les pays.

1° Entre Melano et Rovio, le porphyre brun foncé (3) avec feldspath rouge et mouches vertes de chlorite, est une belle microgranulite ; malgré l'apparence compacte de la pâte, cette roche est entièrement cristallisée et très-analogue aux porphyres de Saint-Germain-Laval (Loire).

2° Les porphyres gris truités, chloritiques, en filons minces dans les micaschistes de Morcote, sont sphérolitiques avec globules à extinction, d'un type entièrement analogue à ceux de Sillé-le-Guillaume et de Lucenay-l'Évêque près Autun.

3° Aux environs de Valgana, la roche rouge à gros grains, est entièrement cristallisée et appartient au type des micro-pegmatites; elle rappelle le porphyre talqueux de l'établissement à Saint-Honoré-les-Bains.

4° Les porphyres rouges en filons minces dans les porphyres noirs à Maroggia, en masses à Morcote au-dessus des micaschistes, et près de la mine de galène de Valgana (4), nous ont également donné de magnifiques exemples de micro-pyromérides avec globules à extinction encore franchement pétrosiliceux ; la structure radiée y est apparente à la lumière naturelle, et cependant la quadruple extinction est très-nette sous les Nicols croisés.

---

(1) Structure microscopique des roches acides, *Bulletin de la Société géologique de France*, 15 février 1875, t. III, 199.

(2) *Ibid.*, 207.

(3) *Ibid.*, 212 et 231.

(4) *Ibid*, 214 et 232.

III. Il convient de séparer entièrement des porphyres noirs et rouges précédents les *roches porphyriques brunes* de Cugliate; elles sont toutes fluidales et sphérolitiques (1), avec globules à croix noire, et présentent même souvent des traces encore peu altérées de cristallites et de trichites; leur série comprend d'ailleurs de vrais pechsteins (Grantola), comme les séries analogues de la Saxe et de Fréjus.

Nous ajouterons que les courses faites par nous aux environs de Lugano, nous paraissent confirmer entièrement les résultats de ces comparaisons et de ces observations microscopiques. De l'avis même de MM. Gaëtano Negri et Emilio Spreafico, les porphyres bruns de Cugliate, bien que formant une enclave séparée, paraissent plus récents que les porphyres voisins. Ces derniers figurent dans leur ensemble une ellipse allongée dans la direction N. 62° E. Le porphyre noir, accompagné de brèches de même nature, paraît former, au nord de cette ellipse, de vastes coulées sur les micaschistes sous-jacents; ces coulées sont percées par des filons et surmontées par des masses de porphyre rouge.

Quant à l'apparente confusion de ces diverses formations, en certains points, il faut en chercher l'explication dans les dislocations récentes, qui ont laissé dans toute la contrée des traces non équivoques : ainsi, à Voldomino par exemple, une coulée de porphyre noir, sur laquelle repose la dolomie triasique, a été relevée verticalement avec les couches voisines, et pourrait être prise au premier abord pour un filon d'injection.

Examen macroscopique. — L'échantillon qui a donné la photographie n° 11, a été recueilli au-dessus du village de Morcote, à l'extrémité de la presqu'île de Carona; dans une pâte rouge saumon, à cassure cornée, on aperçoit sans le secours de la loupe de nombreux globules à contours irréguliers qui se distinguent du reste de la pâte par une couleur plus foncée; le quartz, en très-petits grains hyalins, est assez rare; l'orthose se montre en petites lamelles roses; la roche contient en outre une substance verdâtre stéatiteuse très-abondante.

Les porphyres rouges de Maroggia sont très-analogues; mais les cristaux en débris y sont de plus grande taille; le quartz est laiteux; une partie des lamelles de feldspath est triclinique.

Les porphyres gris en filons minces dans les micaschistes sous le village de Morcote diffèrent nettement des précédents; ils contiennent du quartz en petits grains bien cristallisés peu éclatants;

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. III, 221 et 234.

de l'orthose rose en débris de grandeur moyenne, souvent attaqués par une carie micacée d'un brun velouté; un feldspath triclinique très-abondant en petites lamelles vitreuses, et enfin du mica brun et vert.

Examen microscopique. — Au microscope, le porphyre rouge de Morcote se montre rempli de globules pétrosiliceux souvent bien rayonnés, d'une teinte brune claire dans la lumière naturelle (16); leur diamètre oscille entre $0^{mm},3$ et $0^{mm},9$. Tantôt la substance pétrosiliceuse est concentrée en véritable sphérolites à structure réticulaire, tantôt elle forme des bordures régulières autour des débris de cristaux anciens, et notamment de quartz (6); elle est douée à un haut degré de la faculté de s'illuminer sous les rayons réfléchis. Nous avons déjà mentionné plus haut que, sous les Nicols croisés, les globules de la roche de Morcote s'éteignent quatre fois pour une rotation totale de la plaque; la substance cristallisée qui les imprègne est en outre orientée comme les débris de quartz ancien qui en forment souvent le centre, et s'éteint en même temps qu'eux.

Les sphérolites sont noyés dans une pâte entièrement cristallisée, très-riche en quartz récent granulitique (27), sur lequel s'est moulée une substance irisée, sous les Nicols croisés, et composée d'une multitude de lamelles micacées de récente consolidation (30). Les caractères microscopiques de cette substance ne peuvent se rapporter qu'au talc ou au mica blanc, et les propriétés macroscopiques de la matière stéatiteuse dont les porphyres rouges de Valgana, de Morcote et de Marrogia sont remplis, ne laissent pas de doute à ce sujet. L'analogie de ces roches avec certains porphyres de la série houillère se poursuit donc jusque dans les détails : car la description précédente s'applique point pour point aux porphyres de la Porte, près Sainte-Pérouse, de l'établissement des bains à Saint-Honoré (Nièvre), de la Muldene Hütte à Freiberg, etc. (Voir page 394).

Les porphyres gris truités en filons minces dans les micaschistes, au-dessous de Morcote, se montrent au contraire identiques aux porphyres à grands cristaux du Morvan; l'étude attentive des nombreux filons de porphyre qui traversent les couches anthracifères aux environs de Saint-Honoré-les-Bains, nous a permis de déterminer les relations d'âge qui existent entre les deux variétés houillères, d'ailleurs très-voisines au point de vue de la structure et des conditions de gisement; elles se mêlent dans les mêmes filons, et toutes deux passent à des variétés entièrement cristallisées de micro-pegmatites à étoilement; mais en plusieurs points, on peut

constater la pénétration de filons de la variété talqueuse, dans les dykes de porphyres micacés à grands cristaux. Le porphyre le plus jeune est souvent euritique et passe même à des variétés composées exclusivement d'un pétrosilex compacte noirâtre.

Pl. X, *fig.* 12 (voir p. 377). — Porphyre de la Porte, près Sainte-Pérouse (Nièvre). — Magma semi-cristallin. Structure sphérolitique avec globules à extinction. — Lumière polarisée, Nicols à 90° ; grossissement : 30 diamètres.

Gisement. — En filon dans les roches granitiques, à la limite des terrains primitifs du Morvan et du jurassique de la Nièvre, à environ 1 kilomètre au nord de la grande route de Nevers à Château-Chinon.

Examen macroscopique. — Cette roche est euritique, d'une couleur rosée avec mouches vertes. On y distingue facilement à la loupe d'innombrables petits globules roses pétrosiliceux, en saillie sur un fond verdâtre très-talqueux. Quand les globules sont cassés par le coup de marteau, ils laissent voir un centre quartzeux, avec une petite couronne pétrosiliceuse. Il y a en outre quelques grains de quartz améthiste plus gros que les globules, et des cristaux d'orthose blanc, généralement très-décomposés.

Examen microscopique. — Au microscope les globules (16) présentent les mêmes particularités et ont les mêmes dimensions moyennes que pour la roche de Morcote. Ils possèdent en général une bordure plus foncée que leur intérieur, et s'illuminant davantage sous les rayons de lumière réfléchie. La pâte qui les englobe est exclusivement composée de petites mouches pétrosiliceuses brunes, noyées dans d'abondantes paillettes micacées transparentes (30), très-irisées dans la lumière polarisée, et souvent disposées en houppes radiées ; ici encore on a affaire à du talc très-caractérisé. L'orthose (9) est très-attaqué et présente souvent des vacuoles (31).

Pl. X, *fig* 13 (voir p. 377). — Porphyre des Forges, près Chides (Nièvre). — Magma semi-cristallin. Structures sphérolitique avec globules à extinction et granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 90° ; grossissement : 30 diamètres.

Gisement. — Les environs de Saint-Honoré-les-Bains sont constitués par des roches appartenant au terrain anthracifère, dans lesquelles s'intercalent de puissantes coulées de porphyre noir

éruptif, dont la fluidalité est quelquefois apparente à l'œil nu (hameau du Gain, au sud de Semelay). Les roches du terrain anthracifère s'appuient en certains points sur des poudingues quartzeux peu puissants, qui reposent eux-mêmes sur un système de schistes calcarifères (Champ-Robert, grande route entre le bois de Marry et Vève, à l'est de Villapourçon), appartenant, selon toute vraisemblance, au terrain carbonifère.

De nombreux filons de porphyre quartzifères traversent ces différentes formations ; on peut les classer en trois groupes principaux :

1° Porphyres à grands cristaux truités, gris ou rouges, admettant généralement de la chlorite ou du mica noir et de la pinite noirâtre, et passant entre Préporcher et Onlay à de véritables variétés granitoïdes, grises, micacées. Le long de leurs salbandes et dans les filons très-minces, ces porphyres donnent naissance à des variétés euritiques, nettement différentes des groupes suivants.

2° Porphyres généralement euritiques à pâte rose avec mouches vertes, très-riches en talc; ils passent de variétés entièrement cristallisées même à l'œil nu (porphyre de l'établissement des bains à Saint-Honoré), à des pétrosilex absolument compactes (de Gené aux Garreaux au nord de Préporcher). On y distingue fréquemment à la loupe de petits globules irréguliers, et tout ce groupe présente au microscope les caractères qui ont été décrits à propos des porphyres de Morcote (photogr. n° 11), et de la Porte (photogr. n° 12).

3° Porphyres généralement euritiques à pâte grise ou rose, avec pinite, du type des eurites de la Selle près Autun. Nous avons décrit ces dernières roches dans un mémoire précédent (1) ; au microscope elles se montrent légèrement fluidales et finement globulaires; bien que la majeure partie des globules s'éteignent sous les Nicols croisés, quelques-uns d'entre eux présentent des indices de croix noire.

Ce troisième groupe est postérieur aux deux premiers; on sait que les eurites de la Selle percent les terrains houillers voisins, tandis que les poudingues du terrain houiller d'Autun contiennent des galets authentiques des deux premiers groupes.

Ceux-ci se trouvent tous deux dans les mêmes filons, bien qu'en certains points on puisse affirmer que les porphyres euritiques talqueux pénètrent dans les porphyres à grands cristaux micacés ou chloritiques (S.-O. des Jouavres, sur la nouvelle route du

---

(1) Structure microscopique des roches acides, *l. c.*, 217 et 232.

Vernay). Au sud de Saint-Honoré, entre Avrée et Remilly, la plupart des filons porphyriques appartiennent au groupe n° 2; les mêmes filons prolongés ont souvent, au nord de Saint-Honoré, un remplissage n° 1. Nous avons déjà signalé qu'entre Préporcher et Onlay ce remplissage prend un aspect granitoïde remarquable; il comprend aussi des variétés noires très-micacées.

Les filons des groupes n°s 1 et 2 se rangent en puissants faisceaux, suivant deux directions principales : N. 29 °E. aux environs immédiats de Saint-Honoré, et N. 38° 30′ E. entre Villapourçon et le mont Beuvray. Le premier faisceau, qui comprend plus de quinze filons distincts dans une bande de terrain large de 7 kilomètres, se prolonge de Saint-Honoré jusqu'à Château-Chinon; la puissance individuelle de chaque filon est assez variable et atteint quelquefois 200 mètres, mais elle ne dépasse pas en général quelques mètres; les fissures remplies par la roche éruptive sont très-remarquablement rectilignes, et en tout semblables, dans leurs allures, à celles que l'étude des champs de filons concrétionnés permet de suivre dans leurs détails les plus intimes.

Nous avons suivi le second faisceau N. 38°, 30′ E. de Charnay, près Remilly, à l'Échenault, au nord du mont Beuvray, près Glux, sur une longueur de 25 kilomètres. Le porphyre des Forges, que représente la photographie n° 13, lui appartient. Nous allons suivre ce filon du S.-O. au N.-E., et indiquer la nature de ses affleurements aux points où ils sont nettement visibles.

A la Caillette, près Avrée, c'est une eurite quartzifère rosée appartenant au groupe n° 2, et ayant pour salbandes des roches micacées diamorphiques, à cristaux bipyramidés de quartz, qui accompagnent souvent les porphyres noirs anthracifères. A quelques mètres au nord du point 275 près le hameau des Forges, l'affleurement du filon se compose d'un beau porphyre brun à grands cristaux, du type bien connu du porphyre de Cusset près Vichy; la roche encaissante est un porphyre noir éruptif. A la Corvée près Chides, sur plusieurs centaines de mètres de longueur le porphyre est gris rosé, truité; c'est le type le plus habituel de la contrée. A la hauteur du hameau de Chalenau, le porphyre truité paraît traversé par plusieurs dykes d'eurite pinitifère du groupe n° 3. Un peu au sud du hameau de Montjouan près Champ-Robert, le porphyre est rouge, sableux; il est encaissé dans des schistes calcarifères qui font suite aux couches de marbre de Champ-Robert.

Examen macroscopique. — L'échantillon qui a donné la photographie n° 13 présente une pâte brune compacte, très-chargée de

cristaux en débris d'assez grosse dimension. Le quartz y forme de gros et de petits noyaux à cassure grasse, dont les contours irréguliers sont limités par une bordure rouge pétrosiliceuse plus dure que la pâte, et qui reste en saillie sur les faces usées de la roche. L'orthose est en grands cristaux d'un rouge clair; il y a en outre de plus petites lamelles d'un feldspath triclinique verdâtre, et des mouches d'une substance micacée vert foncé.

Examen microscopique. — Au microscope, chaque débris de quartz ancien (6) se trouve entouré d'une bordure pétrosiliceuse (16) en fines palmures qui s'éteint avec le quartz central, et dont les éléments sont déjà presque discernables aux forts grossissements; nous touchons ici au développement des formes cristallitiques du feldspath récent, noyées dans un excès de silice cristallisée. La même substance pétrosiliceuse forme des globules isolés dans le magma proprement dit. Ce dernier est micro-granulitique, et sa consolidation paraît sans aucun doute postérieure à celle de la substance pétrosiliceuse. Les cristaux d'orthose ancien contiennent fréquemment de petites lamelles maclées de microcline.

Pl. X, *fig.* 14 (voir p. 379). — **Porphyre du mont Genièvre (Nièvre).** — **Magma entièrement cristallisé. Structure micro-pegmatoïde. — Lumière polarisée, Nicols à 30° ; grossissement : 30 diamètres.**

Gisement. — Ce porphyre a été recueilli au sommet du mont Genièvre, au nord du chemin de la Queudre à Sanglier, près le point 638. Il ne fait pas partie des deux faisceaux mentionnés ci-dessus, et se trouve sur le prolongement d'un filon transversal, N. 62° E., qu'on peut suivre du point où le chemin de Four-Monté à Tussy s'infléchit, jusqu'au Garny, et que l'on retrouve encore plus haut sur le chemin du mont Genièvre. Au delà de cette ligne de faîte, le même filon porphyrique se poursuit probablement jusqu'au nord de Villapourçon, vers le mont Preneley.

Sur tout son parcours, son remplissage présente différentes variétés appartenant au groupe n° 1.

Examen macroscopique. — On voit aisément à la loupe que la roche est entièrement composée de lamelles cristallines feldspathiques rose saumon, englobant des cristaux plus grands d'orthose rosé, quelques débris d'un feldspath triclinique jaunâtre, et de nombreux grains de quartz bipyramidé également jaune. Il y a, en outre, une substance micacée verte, et des nids de talc verdâtre.

Examen microscopique. — Au microscope toutes les lamelles, formant le magma de la roche, se résolvent en un mélange de

quartz et d'orthose (22-26) et présentent un type bien franc de micro-pegmatite; la prise en masse du quartz et du feldspath récents et l'état encore en partie cristallitique de ce dernier paraissent nettement ressortir de la remarquable structure de cette roche, qui peut d'ailleurs servir de type à une classe nombreuse de porphyres houillers du Morvan. On voit par places quelques houppes de talc (30).

Pl. XI, *fig.* 15 (voir p. 386). — **Granulite de Montaiguet (Allier).** — **Magma entièrement cristallisé. Structures granulitique et pegmatoïde. — Lumière polarisée, Nicols à 60° ; grossissement : 30 diamètres.**

Gisement. — Cette roche, que nous devons à l'obligeance de M. Douvillé, se trouve en filon dans les terrains granitiques de Montaiguet, près la Palisse.

Examen macroscopique. — Elle se classe facilement à l'œil nu parmi les granulites, dont elle présente le magma entièrement cristallisé et composé de lamelles feldspathiques à peu près uniformes, contenant des granules arrondis de quartz. Sa couleur générale est rougeâtre.

Examen microscopique. — Au microscope, la granulite de Montaiguet donne un bel exemple du mélange des structures granulitique et pegmatoïde; le quartz s'y montre même sous trois formes distinctes : à l'état de cristaux en débris (6), de quartz pegmatoïde (26), enfin de quartz granulitique (27) ou même d'infiltration, postérieur au feldspath récent. Les débris de quartz ancien paraissent très-abondants. Le feldspath contient des veinules albitiques.

Pl. XI, *fig.* 16 (voir p. 388). — **Pegmatite de Chanteloube (Haute-Vienne). — Magma entièrement cristallisé. Structure granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 90° ; grossissement : 50 diamètres. — Plaque parallèle au clivage le plus facile O.**

Examen macroscopique. — L'échantillon qui a donné la photographie n° 16, est un orthose rose de chair, dans lequel on distingue à l'œil nu quelques très-petits grains de quartz et des paillettes très-exiguës de mica blanc. Bien que les clivages soient nets et brillants, on aperçoit déjà à la loupe de fines lamelles tricliniques.

Examen microscopique. — Au microscope, la roche se montre très-riche en microcline, et les plaques taillées parallèlement au clivage O, donnent sous les Nicols croisés les réseaux de stries à

angles droits (23) qui caractérisent habituellement les macles de cet orthose triclinique avec le monoclinique. La roche est traversée par de fines fissures remplies d'une substance plus limpide que la masse du feldspath, et prenant une teinte jaune sous les Nicols croisés, bleue intense quand ils sont parallèles.

Aux forts grossissements, on découvre dans cette substance limpide quelques inclusions liquides à bulles mobiles, qui font supposer qu'on peut avoir affaire à du quartz (24); d'autre part une des directions de stries du feldspath encaissant paraît se propager, en certains endroits, à travers cette substance et y former des bandes claires ou obscures. La photographie n° 16 reproduit fidèlement cette apparence.

La petite épaisseur des traînées de substance limpide ($0^{mm},1$ au maximum) ne permet guère d'en saisir la nature à l'œil nu ou même à la loupe; d'autre part, la présence bien constatée d'inclusions liquides à bulles mobiles dans les feldspaths des roches anciennes paraît extrêmement rare (1); or, à un grossissement de 1.400 fois, aucune des traînées que nous étudions n'en paraît dépourvue; dans des orthoses de provenance différente, notamment dans un échantillon de pierre des Amazones de Mursinsk, certaines traînées analogues se montrent même assez riches en inclusions à bulles mobiles; enfin, dans certaines granulites du Colorado, leur nature quartzeuse apparaît avec évidence.

Dans l'espèce, les stries qui traversent la substance limpide ne laissent guère de doute sur sa nature feldspathique, et nous croyons qu'on a affaire à un albite de contraction plus récent que le reste du fedspath et présentant par places quelques inclusions liquides à bulles mobiles, conformément aux récentes observations de M. Des Cloizeaux.

Pl. XI, *fig.* 17 (voir p. 392). — **Granulite de Central-City (Colorado).** — Magma entièrement cristallisé. Structure granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 80° ; grossissement : 30 diamètres.

Examen macroscopique. — Cette roche a été recueillie dans la vallée de Central-City, par M. Chaper, qui a bien voulu nous prier d'en faire l'examen pétrographique.

A l'œil nu, on y découvre une abondance de quartz hyalin granulé et une foule de petites lamelles feldspathiques nacrées, d'un

(1) MM. Zirkel et Rosenbusch (m. Beschaff., p. 125 ; m. Physiog., p. 339) n'en ont jamais constaté dans les feldspaths des roches granitiques.

blanc jaunâtre, souvent tricliniques; il y a en outre quelques cristaux plus développés d'orthose blanc presque adulaire. Le mica magnésien, verdâtre, à reflets bronzés, forme dans la roche de petites traînées grossièrement orientées, qui lui donnent un aspect général gneissique ou rubané, d'autant plus marqué que suivant la même direction la roche est traversée par des parties ocreuses, le long desquelles le quartz et même le feldspath se colorent en brun. Mais un examen attentif à la loupe permet de conclure que le quartz et le feldspath sont peu influencés par la schistosité. Ils contiennent une assez grande abondance de petits grains noirs magnétiques.

Examen microscopique. — Au microscope, la structure générale de la roche est franchement granulitique et rappelle plutôt les granulites nettement éruptives que les gneiss rouges métamorphiques. Parmi les lamelles feldspathiques, les unes sont de l'orthose (9), les autres tricliniques (7), d'autres enfin présentent les caractères des mélanges d'orthose et de microcline (23). Ces dernières paraissent avoir moulé et même souvent corrodé les précédentes; il se développe alors dans le feldspath ancien de très beaux phénomènes d'infiltration quartzeuse (25), que la photographie n° 17 permet de pressentir, sans en rendre d'ailleurs les minutieux détails.

Il y a beaucoup de quartz ancien en débris ou en petits grains arrondis (6); mais la majeure partie du quartz est de consolidation récente; il forme alors des traînées granulitiques qui s'insinuent entre les débris feldspathiques et les cimentent (27).

Le mica noir (4) est par places accompagné de petites paillettes irisées que l'on peut prendre pour du mica blanc (29), mais cet élément est peu abondant. Le fer oxydulé (1) se présente sous des formes irrégulières; il est très-fortement magnétique; on sait que l'examen microscopique dans de pareilles conditions ne permet pas de le distinguer avec sécurité du fer titané.

Pl. **XI**, *fig.* 18 (voir p. 392). — **Granulite de Grape-Creek (Colorado).** — Magma entièrement cristallisé. Structure granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 90°; grossissement : 50 diamètres.

Examen macroscopique. — M. Chaper a recueilli cette roche, près la scierie de Grape-Creek, à environ 8 milles du rancho du docteur Bell, Wet Mountain Vally. C'est une granulite rosée à grains fins, remplie de granules arrondis de quartz et de petites lamelles feldspathiques nacrées, éclatantes. Elle contient en outre

quelques paillettes brillantes de mica noir et de petits grains magnétiques également noirs. Par place, la roche est mouchetée de taches rouges ferrugineuses.

Examen microscopique. — Les plaques de cette granulite deviennent bien transparentes sous une assez forte épaisseur, et donnent de très-belles couleurs de polarisation sous les Nicols croisés; son feldspath est presque exclusivement composé de microcline; il y a beaucoup de quartz ancien, c'est-à-dire antérieur au microcline; il est d'ailleurs souvent difficile à distinguer du quartz récent, car tous deux sont également granulitiques. Le fer oxydulé présente quelques profils cristallins bien caractérisés.

Pl. XI, *fig.* 19 (voir p. 388). — Pegmatite d'Oak-Creek (Colorado). — Magma entièrement cristallisé. Structure granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 90°; grossissement : 30 diamètres. Plaque taillée suivant le clivage le plus facile O.

Examen macroscopique. — Cette roche a été recueillie par M. Chaper dans le vallon d'Oak-Creek, sur la nouvelle route de Rosita. Elle est entièrement analogue à un type de granite pegmatoïde rouge de chair très-répandu à Glen Eyrie, près du Garden of the Gods, et rappelant à bien des points de vue les roches similaires d'Arendal.

La pegmatite d'Oak-Creek contient un grand nombre de petits granules de quartz blanchâtre, bien visibles à l'œil nu, et quelques lamelles de mica vert. Ses clivages, très-brillants, laissent paraître çà et là quelques indices de stries.

Examen microscopique. — Sous les Nicols croisés, les plaques taillées parallèlement au clivage O s'éteignent fort peu; la roche contient donc une minime quantité d'orthose et se compose en majeure partie de microcline (23), comme le démontre l'angle de rotation nécessaire pour l'extinction successive des quatre systèmes de lamelles tricliniques maclées entre elles.

La roche contient en outre des débris de quartz (6) et quelques cristaux cassés d'un feldspath ancien très-attaqué. Elle est traversée, comme la pegmatite de Chanteloube, par de fines veinules orientées suivant une même direction et remplies de la substance que nous avons nommée quartz de contraction (24), et qui est peut-être encore ici de l'albite.

Les caractères de cette substance sont identiques avec ceux que nous avons décrits à propos de la *fig.* 16; elle s'éteint en même temps que l'orthose de la pegmatite, et contient par places quelques inclu-

sions liquides à bulle mobile de très-petite taille ; elle entoure les cristaux de quartz et paraît se fondre avec quelques débris de feldspath ancien qu'elle pénètre intimement, bien que sa consolidation soit certainement postérieure à celle du microcline lui-même. Enfin, par places, elle semble striée. On voit qu'ici encore cette substance, d'une belle couleur bleue intense sous les Nicols parallèles, participe tantôt des propriétés du quartz, tantôt de celles du feldspath. Les veinules que nous étudions ici ont une épaisseur maximum de 0mm,03.

Pl. XII, *fig.* 20 (voir p. 389). — Pegmatite de l'île d'Elbe. — Magma entièrement cristallisé. Structure granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 45°; grossissement : 30 diamètres.

Examen macroscopique.— Les roches granitiques de l'île d'Elbe nous offrent un remarquable exemple de roches récentes (1) entièrement cristallisées; leur type le plus habituel est une micro-granulite avec des cristaux en débris de grande dimension, qui lui donnent une apparence porphyrique; le feldspath ancien s'y montre très-riche en inclusions vitreuses de grande dimension, et le diamètre moyen des granules de quartz récent du magma est d'environ 0mm,028. Les variétés à grands cristaux des porphyres bleus de l'Esterel nous ont présenté des caractères très-analogues; ce sont également des micro-granulites dont le grain oscille entre 0mm,012 (carrière romaine de Boulouris) et 0mm,030 (porphyre à grands cristaux en face les Ferrières) (2). Les roches analogues d'Algérie contiennent dans les débris de quartz ancien de belles inclusions liquides à bulles mobiles avec petits cristaux cubiques, probablement à rapporter au chlorure de sodium.

Les micro-granulites jaunâtres de l'île d'Elbe sont accompagnées de granulites proprement dites, dans lesquelles on observe des druses et des veines de minéraux largement développés, tourmaline rose, mica blanc palmé, orthose, albite; c'est à ces druses ou à ces veines que l'on peut appliquer le nom de pegmatite. La photographie n° 20 représente une plaque de la granulite proprement dite; on y aperçoit à l'œil nu un mélange confus de petits grains de quartz vitreux, et de lamelles feldspathiques d'un blanc éclatant, tachées par de petites mouches de tourmaline noire (1).

(1) Voir Coquand, *Traité des roches*, 1857, p. 49. Delanoue, *Bulletin de la Société géologique de France*, XXV. 1868. p. 834.

(2) Coquand, *l. c.*, p. 97.

Examen microscopique. — Au microscope, la roche se montre très-riche en débris de feldspath triclinique (7). Les cristaux anciens sont moulés par un orthose récent (22), qui présente de petites traînées limpides analogues à l'albite de contraction précédemment étudié. Les feldspaths contiennent de petites inclusions vitreuses. L'élément le plus récent du magma est un quartz granulitique (27) très-développé.

Pl. XII, *fig.* 21 (voir p. 396). — **Granite syénitique de Sand-Creek (Colorado).** — **Magma entièrement cristallisé. Structures granitique et granulitique. — Lumière polarisée, Nicols à 60° ; grossissement : 30 diamètres.**

Examen macroscopique. — M. Chaper a recueilli cette roche dans Sand-Creek, route de South Park, à sept milles de Cañon-City. Elle rappelle entièrement à première vue la syénite feuille morte des Vosges, et les granites syénitiques de l'Allier. On y distingue de l'orthose rose violacé, en grands cristaux à clivages brillants, contenant souvent de petites paillettes de mica verdâtre ; un feldspath triclinique avec stries bien visibles, translucide, à reflets bleuâtres, en cristaux d'assez grande dimension, mais plus petits que ceux d'orthose ; quelques gros grains de quartz à éclat gras ; enfin une pâte englobante, presque exclusivement composée de lamelles brillantes de mica vert bouteille, avec quelques cristaux mal formés de sphène jaune miel. La roche est fortement magnétique.

Examen microscopique. — Aux précédents minéraux, l'examen au microscope permet d'ajouter l'amphibole (3) qui se présente en débris assez rares, associés au mica (4), mais qui s'en distingue par sa couleur vert émeraude, et par un dichroïsme moins prononcé. Le mica, le sphène (5) et l'amphibole contiennent de nombreux petits cristaux d'apatite hexagonale, déjà bien visibles à un grossissement de 30 diamètres, et des débris de fer oxydulé opaque (1).

La structure générale de la roche est granulitique plutôt que granitique : le feldspath ancien, orthose (9) et probablement oligoclase (7) (1), se présente en grands débris irréguliers, pressés les uns contre les autres ; le sphène, l'amphibole et le mica, également en débris, mais de petite taille, sont en général charriés par le quartz récent qui cimente tout l'ensemble. Or ce quartz récent est ordinairement granulitique (27) ; on le trouve rarement en

(1) Plusieurs des cristaux tricliniques présentent des stries qui s'éteignent à peu près simultanément ; en outre, un des systèmes est généralement beaucoup plus développé que l'autre.

grandes plages granitiques (28), et cette observation est applicable à toutes les syénites.

L'orthose contient fréquemment des débris de feldspath triclinique; le feldspath ancien englobe du mica, de l'amphibole et du sphène; la réciproque est rare. Le sphène paraît de consolidation postérieure à celle du mica noir; quant à l'amphibole, sa consolidation semble contemporaine de celle du mica. Le fer oxydulé est certainement antérieur à tous les autres minéraux.

L'originalité du granite syénitique de Cañon-City consiste dans les remarquables inclusions que présentent plusieurs de ses éléments.

Le quartz, très-limpide, et contenant quelques inclusions liquides dihexaédriques à bulles mobiles, présente souvent des bandes rectilignes dans la lumière polarisée; l'extinction totale se produit cependant simultanément pour les différentes bandes. Nous rapporterions ces apparences à une imperfection du polissage, si de nombreuses plaques ne nous avaient toutes présenté le même phénomène.

Aux forts grossissements, le quartz de la roche que nous étudions se montre en outre rempli de microlites de taille et d'aspect différents : les uns sont composés de disques aplatis, translucides qui paraissent avoir la forme de rectangles ou de losanges arrondis sur les angles; ces disques sont disposés à la file les uns des autres, non pas dans des plans, mais suivant des lignes droites ou légèrement sinueuses. Tantôt ces microlites en disques paraissent comme empilés et sont très-serrés les uns contre les autres; tantôt, au contraire, ils sont espacés sur de très-longs alignements. Leurs dimensions, qui varient brusquement dans une même rangée, sont comprises entre $0^{mm},0007$, $0^{mm},003$. Certaines plages de quartz en sont littéralement remplies dans toutes les directions.

A ces premiers microlites s'en juxtaposent d'autres très-allongés, généralement transparents et composés d'un seul article, mais quelquefois aussi comportant deux ou trois étranglements successifs, sur une épaisseur de $0^{mm},0012$ et une longueur de $0^{mm},075$.

On ne peut se dissimuler l'analogie quelquefois frappante de ces remarquables productions avec les cristallites de certaines roches vitreuses.

Le sphène de cette roche ne répond pas tout à fait aux descriptions que MM. Zirkel et Rosenbusch ont données de ce minéral : il contient plusieurs inclusions, dont quelques-unes à bulle mobile; il englobe en outre des lamelles de mica noir et des microlites d'apatite.

Le feldspath contient aussi d'assez nombreux microlites analogues à ceux du quartz; mais ils ne sont plus rangés en lignes.

Pl. XII, *fig.* 22 (voir p. 396). — **Granite de Vire (Calvados).** — Magma entièrement cristallisé. Structure granitique, avec quartz ancien. — Lumière polarisée, Nicols à 90° ; grossissement : 50 diamètres.

Gisement. — Ce granite forme de grandes enclaves E. O., dans les terrains de transition inférieurs; une étude approfondie du terrain silurien de la Bretagne permettra vraisemblablement de fixer l'âge du granite de Vire, qui paraît plus récent que les granites ordinairement appelés porphyroïdes.

Examen macroscopique. — Nous avons déjà décrit cette roche dans une note précédente(1); elle est grise, à grains assez fins, et contient du quartz gras, légèrement enfumé, quelquefois en petits grains bipyramidés; des lamelles nacrées de feldspath, quelques-unes striées; enfin du mica brun très-brillant.

Examen microscopique. — Au microscope, outre le mica brun très-dichroïque (4), l'orthose (9) et le feldspath triclinique (7), on aperçoit quelques coupes nettement hexagonales de quartz ancien (6) et du mica blanc.

Le magma cristallisé comprend de l'orthose récent (22) avec quartz ou albite de contraction (24), et du quartz granitique. L'orthose récent forme des plages irrégulières englobant les anciens cristaux en débris; la photographie n° 22 montre deux de ces plages juxtaposées, d'orientations différentes, l'une éteinte, l'autre au contraire à son maximum d'éclairement; elles englobent un débris d'orthose ancien, très-rongé sur les bords et infiltré de quartz (25).

Pl. XII, *fig.* 23 (voir p. 399). — **Porphyre noir de la Gayetière (Loire).** — Magma semi-cristallin. Structure fluidale. — Lumière naturelle ; grossissement : 30 diamètres.

Gisement. — Nous avons recueilli cette roche sur le chemin qui va de Regny à l'ancienne ville de Lay, en passant par la Gayetière. Elle paraît en coulées, certainement superposées au calcaire carbonifère de la contrée, et inférieures aux couches à anthracite exploitées au voisinage de Roussillon. M. Grüner la considère (2)

---

(1) Structure microscopique, etc., *l. c.*, 228.
(2) *Descr. géol. de la Loire*, p. 293, 338, 359.

comme un grès métamorphique anthracifère ; et en effet, bien qu'elle soit franchement éruptive, elle passe par place à des roches diamorphiques.

Examen macroscopique. — Dans une pâte compacte, d'un vert foncé, on distingue des granules de quartz vitreux; des lamelles feldspathiques nacrées, très-brillantes ; une substance micacée d'un vert foncé.

Examen microscopique. — Les cristaux en débris de petite taille se montrent au microscope très-nombreux et très-cassés. Cependant plusieurs cristaux de quartz ancien (6) présentent des coupes encore franchement hexagonales, bien que la roche que nous étudions appartienne à la famille des quartz-diorites et des diabases (trapps) de M. Zirkel, et contrairement à l'opinion de cet auteur, qui n'a jamais observé dans les roches similaires (Quenast, etc.) que des grains arrondis ou brisés de quartz, sans forme cristalline nette (1).

Le feldspath est encore en partie adulaire; un grand nombre de ses débris présentent les stries des feldspaths tricliniques (7) dans la lumière polarisée, mais l'orthose est également abondant (9).

La roche contient en outre des débris souvent allongés de chlorite foncée (4), et de plus petits fragments d'amphibole vert clair (3), en partie transformée en serpentine (30).

La pâte se montre à la lumière naturelle très-fluidale et finement pointillée de granulations opaques brunes. La fluidalité (1[illegible]) a entraîné les débris allongés de chlorite et d'amphibole autour des cristaux plus volumineux de feldspath.

Sous les Nicols croisés, l'extinction est très-complète; cependant il y a çà et là quelques indices d'un état grenu et même quelques traces de quartz récent; la roche de la Gayetière, quoique appartenant incontestablement à la série des porphyres noirs, est plus acide que les variétés fluidales par microlites; elle se rapproche ainsi de certaines roches de Quenast, encore franchement grenues.

Pl. XII, *fig.* 24 (voir p. 403). — **Mélaphyre de la Petite-Fosse (Vosges).** — Magma semi-cristallin. Structure cristalline enchevêtrée. — Lumière polarisée, Nicols à 45° ; grossissement : 30 diamètres.

Gisement (2). — Plusieurs mélaphyres des Vosges se montrent en coulées intercalées dans les couches moyennes du grès rouge. Ils

(1) *M. Beschaffenheit, l. c.*, p. 402, 410.

(2) Les observations relatives au gisement de cette roche ont été faites en commun avec M. Douvillé.

paraissent contemporains du porphyre quartzifère violet qui forme un long filon E.-O. entre Bréhimont, Nonpatelize et la Valdange. Les porphyres violets du Val-d'Ajol leur sont postérieurs et nous avons étudié précédemment (*fig.* 1) un échantillon d'Hérival qui contenait des débris de mélaphyre.

Du reste, ces roches basiques présentent la plus grande analogie pétrographique avec les mélaphyres d'Oberstein, de Zwickau et de Sarrebrück. On y observe des roches amygdaloïdes violettes (Senones), avec remplissages variés d'agate, de calcédoine, de chaux carbonatée, de fer carbonaté, de matière verte stéatiteuse; d'autres variétés d'un brun foncé (bois des Faîtes), présentent un aspect ligniforme qui décèle une structure fluidale très-accentuée; enfin la même formation comporte des roches compactes d'un gris violacé (Sainte-Marguerite, près Saint-Dié), que l'on a quelquefois confondues avec de la serpentine massive.

Les divers gisements de mélaphyres et de porphyrites cités plus haut nous montrent que leurs éruptions se sont reproduites à plusieurs reprises pendant le dépôt du grès rouge; ainsi les mélaphyres d'Oberstein et de Sarrebrück paraissent antérieurs à ceux des Vosges et correspondent à la base du grès rouge; certains puits du bassin houiller de Zwickau en ont notamment recoupé plusieurs niveaux.

La photographie n° 24 a été donnée par un mélaphre presque compacte de la Petite-Fosse, au N.-E. des bois d'Ormont près Saint-Dié. Il paraît intercalé, comme ses congénères, dans les couches moyennes du grès rouge, à une altitude de 540 mètres. Lorsque, de la Petite-Fosse, dont les premières maisons au sud touchent à cette roche, on s'élève vers le bois des Faîtes, le chemin quitte subitement les couches permiennes, et longe un puissant filon de porphyre granitoïde du type de Rochesson, encaissé dans des schistes anciens noirâtres. La formation de grès rouge ne se retrouve qu'à une altitude de 700 mètres environ; elle contient de nouveau, vers le sommet du bois des Faîtes (739 mètr.), une belle porphyrite ligniforme avec veines et amygdales étirées de jaspe sanguin. Il y a donc lieu de supposer qu'une puissante faille passe à la Petite-Fosse même, et explique cette différence considérable d'altitude entre deux roches voisines, qui se trouvent dans les mêmes conditions de gisement. L'une d'elles, celle du bois des Faîtes, est fluidale par microlites et douée d'une pâte amorphe abondante; l'autre, que nous allons décrire, a une structure microlitique enchevêtrée, presque exclusivement cristalline.

Examen macroscopique. — Le mélaphyre de la Petite-Fosse,

passe de variétés très-vacuolaires, où le diamètre des vacuoles atteint plusieurs centimètres, a d'autres variétés presque compactes, dans lesquelles on ne distingue plus que quelques cristaux feldspathiques d'un blanc rosé dans une pâte rugueuse violacée, présentant de nombreux petits points bruns.

Examen microscopique. — Ces dernières variétés présentent au microscope quatre substances minérales différentes : un feldspath triclinique en débris (7) et en microlites (13); de petits grains rugueux jaunâtres, très-transparents, traversés par des fissures bien nettes, et qui sont composés d'olivine (2); une matière brune opaque, à laquelle les grains d'olivine passent par décomposition sur leurs bords; enfin, par places, de très-petits lambeaux de pâte vitreuse, souvent salie par des granulations opaques. Le plus grand nombre des mélaphyres permiens des Vosges n'est pas magnétique; celui de la Petite-Fosse ne présente pas au microscope de grains de fer oxydulé.

L'absence du pyroxène dans cette roche et la présence de l'olivine ne sont plus des faits qui méritent une discussion approfondie, depuis que MM. Tschermak (1) et Haarmann (2) ont signalé leur généralité.

La photographie n° 24 rend bien compte de la structure enchevêtrée et presque cristallitique des microlites feldspathiques d'un grand nombre de roches basiques.

(1) *Beobachtungen über die Verbreitung des Olivins in den Felsarten.* Académie des sciences de Vienne, LVI, juillet 1867.
(2) *Mélaphyres, l. c.,* Leipzig 1872.

TABLE DES MATIÈRES.

TROISIÈME PARTIE. — **Magma entièrement cristallisé.**

FORMATION CONTEMPORAINE

DE

DIVERSES ESPÈCES MINÉRALES CRISTALLISÉES

DANS LA SOURCE THERMALE DE BOURBONNE-LES-BAINS (*).

Par M. DAUBRÉE, Membre de l'Institut, Inspecteur général des mines.

Introduction. — La genèse des minéraux, qui intéresse à un haut degré la partie théorique de la minéralogie et de la géologie, ainsi que diverses applications de ces sciences, reçoit une vive lumière de l'étude des circonstances sous lesquelles se produisent actuellement des combinaisons identiques à celles qui se sont formées autrefois dans l'écorce terrestre. Les sources thermales fournissent des documents précieux à cet égard : ce sont des laboratoires où des espèces variées continuent à s'élaborer et à se déposer chaque jour, aussi bien que dans les périodes qui nous ont précédés. A mesure qu'on étudie plus complétement leurs opérations, la part très-considérable qui leur appartient dans beaucoup de formations des anciennes périodes devient plus manifeste et plus précise.

Toutefois, ce n'est pas en général dans le bassin même des sources qu'on rencontre des faits de cette nature ; pour les observer, il est nécessaire de pénétrer plus profondément, loin de l'action oxydante de l'atmosphère, dans leurs canaux d'ascension ou dans les pores des roches ;

(*) L'auteur de ce mémoire y coordonne cinq communications qu'il a faites à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*, t. LXXX, p. 461 et 604, et t. LXXXI, p. 182, 834 et 1008), et y ajoute des faits qu'il a eu occasion d'observer depuis lors en visitant la localité.

aussi n'est-ce que dans des occasions assez rares qu'il est possible de constater les faits les plus instructifs et les plus analogues à ceux que nous présentent diverses roches anciennes et les filons métallifères.

Ce sont des circonstances de ce genre qu'a fait découvrir le travail de captage dont les sources thermales de Bourbonne-les-Bains ont été l'objet, en décembre 1874 et dans les premiers mois de 1875.

Frappé de l'intérêt que pouvaient avoir les objets rencontrés par les fouilles, non-seulement comme témoins de l'importance qu'avait eue la localité de Bourbonne dès l'époque romaine, mais aussi au point de vue de la théorie, M. l'ingénieur en chef Trautmann adressa une série de ces échantillons à M. le ministre des travaux publics, qui me les a transmis, en m'invitant à en faire l'examen. Je tiens à adresser ici mes remercîments à M. Trautmann, ainsi qu'à M. Rigaud, ingénieur ordinaire, pour les documents supplémentaires que l'un et l'autre ont eu la bonté de me fournir. Plus tard, m'étant rendu dans la localité, afin d'observer plus exactement les conditions où ces divers objets avaient été rencontrés, j'ai trouvé aussi chez M. le garde-mines Préchey des renseignements qu'il m'a fournis avec une grande obligeance. Je dois enfin remercier M. Richard, attaché aux collections de l'École des mines, du concours actif et habile qu'il m'a prêté pour l'examen de plusieurs de ces substances.

Avant de montrer combien les faits ainsi reconnus sont significatifs, pour la formation de beaucoup de minéraux, je rappelerai très-succinctement la nature et le gisement des sources thermales de Bourbonne en renvoyant, pour plus de détails, au travail bien connu que M. Drouot, inspecteur général des mines, a publié sur cette localité, à la suite des sondages qu'il y a fait exécuter (*).

(*) *Annales des mines*, 6e série, t. III, p. 1, 1863.
Parmi les autres ouvrages que l'on peut consulter, je mention-

Résumé sur le gisement, la température et la composition des sources. — Les sources thermales de Bourbonne jaillissent du grès bigarré, ou, plus exactement, des argiles bariolées qui forment la partie supérieure de cet étage et supportent celui du muschelkalk. Elles prennent naissance à proximité de failles, en rapport avec les fractures qui ont ouvert la vallée et laissé d'autres traces dans cette partie de la France. L'apparition inattendue de pointements granitiques qui surgissent au milieu du grès bigarré, à Châtillon-sur-Saône, à moins de 10 kilomètres de distance, paraît en connexion avec l'origine de ces sources. C'est un trait remarquable de ressemblance avec le gisement des sources thermales du versant sud-ouest des Vosges, notamment Plombières et Bains, celles du nord-est de la Forêt-Noire, particulièrement Vildbad en Wurtemberg (*), celles de diverses localités de la France (Bourbon-l'Archambault) et d'autres pays.

A part des sources anciennement connues et qui surgissaient naturellement jusqu'à la surface du sol, il en est d'autres qui ont été provoquées par des sondages.

La température de ces sources varie de 58 à 66 degrés, suivant les parties où on l'observe, et s'élève à 68 degrés centigrades sur le principal point d'émergence qu'un sondage a récemment atteint.

Quant à leur composition chimique, je me bornerai à rappeler que les substances en dissolution qui y prédominent sont des chlorures et des sulfates à bases d'alcalis, de chaux et de magnésie, accompagnées de bromures et de carbonates de chaux et de fer, de silicate alcalin et de traces d'arsenic et de manganèse. On y a aussi reconnu la

---

nerai la *Bibliographia Borboniensis*, de M. le Dr Bougard, et le mémoire du même auteur sur Bourbonne (*Annales de la Société d'hydrothérapie médicale*, t. XVII, 1872).

(*) Walchner. Darstellung der geologischen Verhältnisse der am Nordrande des Schwarzwaldes Mineralquellen, 1843.

présence de l'ammoniaque, de l'iode, du bore, du cuivre, de la lithine, de la strontiane, du cæsium et du rubidium, ces deux derniers corps en proportions dosables. Le poids total du résidu de l'évaporation est de 7 à 8 grammes par litre.

Bien que l'analyse n'y ait pas signalé la présence de sulfures en quantité notable, il s'exhale des sondages, particulièrement de ceux qui sont tubés en bois et surtout du sondage n° 12, des traces d'hydrogène sulfuré qui se trahit par son odeur et qui agit sur le papier préparé à l'acétate de plomb ; du soufre sublimé a même été recueilli à la partie supérieure de la trappe de l'un de ces sondages (*). Le gaz qui s'exhale en bouillonnant est principalement formé d'azote, avec de petites quantités d'oxygène; de l'acide carbonique y a été parfois signalé, mais non par tous les observateurs.

Disposition du puisard romain et des conditions dans lesquelles les minéraux de nouvelle formation y ont été rencontrés. — Dans le but de pratiquer un sondage dans le puits antique, dit *puisard romain*, qui a été autrefois établi sur la principale source de Bourbonne et qui est situé dans l'établissement civil, il fallait en mettre le fond à sec. On y est parvenu en décembre 1874, grâce au jeu de pompes puissantes, ce que l'abondant jaillissement de la source avait empêché de faire lors des travaux exécutés antérieurement en 1783 et en 1857.

C'est dans la partie inférieure de ce puits (représenté en coupe verticale par la *fig.* 1, Pl. XIII), ainsi devenu accessible, qu'ont été découverts les principaux faits qui font l'objet de ce mémoire ; aussi convient-il d'en signaler d'abord la disposition avec quelques détails.

(*) Celui de la fontaine de la place. A. Chevallier, *Journal de chimie médicale, de pharmacie et de toxicologie*, 5e série, t. II, p. 560.

Le fond du puisard dont il s'agit (*fig.* 1) est situé à 7m,80 au-dessous du pavé des bains civils. En y arrivant, on rencontra d'abord une boue argileuse noirâtre (*b*) renfermant des débris de bois, ainsi que des milliers de noisettes, des glands, et quelques noyaux de fruits. Sous cette couche, qui avait 30 centimètres d'épaisseur, était une couche de sable gris (*s*) épaisse de 15 centimètres, à laquelle succédait, sur 10 centimètres d'épaisseur, une boue noirâtre (*b'*) semblable à celle de la couche supérieure.

Après avoir déposé sur la chaussée 3 ou 4 mètres cubes de la boue provenant de cette troisième couche, on y aperçut quelques médailles; aussitôt on la soumit avec soin au lavage sur un tamis, opération qui amena la découverte de plus de 4.700 médailles, la plupart de bronze ou de laiton, d'autres d'argent ou d'or (*).

Les quatre pièces d'or étaient aux effigies de Néron, Adrien, Faustine jeune, femme de Marc-Aurèle, et Honorius.

Parmi les pièces d'argent, il y en avait un certain nombre de gauloises, parmi lesquelles une vingtaine du type *Durnaco*, au revers *Auscro*, une du chef gaulois *Germanus*, fils d'*Indutillus*, une avec la légende *Solima*[*riaca*]. Des monnaies consulaires et surtout des monnaies impériales formaient le reste. Ces dernières sont, pour la plupart, des premiers règnes ; il en est cependant qui descendent à l'époque du Bas-Empire.

Les monnaies de bronze, grand, moyen, et petit module, appartiennent aussi à des époques très-différentes ; on en remarque d'Auguste, de Vespasien, de Faustine, de Domitien, de Trajan, d'Antonin, de Marc-Aurèle, de Lucille, de

(*) Sur ce nombre il y en avait :

	kilog.
En or, 4 d'un poids total de.	0,025
En argent, 265 d'un poids total de. . .	0,625
En bronze, 4.468 d'un poids total de. .	20,800
Total.	21,450

Commode, de Constant et de Magnence. Les effigies de ces pièces correspondent à un long laps de temps, mais elles peuvent être restées en circulation et, par conséquent, avoir été jetées dans le puisard, longtemps après avoir été frappées. Il importe toutefois de signaler dans cet aperçu la très-grande prédominance de trois types du règne d'Auguste. Des pièces de petit module, *Cæsar imp.*, au revers *Augustus divi f.*, y abondaient, les unes avec l'aigle, les autres avec le taureau cornupète : ces deux premiers types sont représentés par plus de 1.270 pièces. Puis les pièces de moyen module, et bien connues, portant les deux têtes d'Auguste et d'Agrippa, et au revers le crocodile et le palmier, avec la légende *Col. nem.*, étaient représentées dans le total qui précède par 696. Beaucoup d'entre elles ont été coupées en deux parties, et plus de 600 de ces moitiés ont été recueillies.

Outre les pièces déterminables, il y en a beaucoup, environ 1.600, dont l'action érosive de l'eau thermale a rendu le relief tout à fait indistinct.

A ces médailles étaient associés des objets variés, tels que statuettes en bronze (*), épingles et bagues en or pâle allié de beaucoup d'argent (electrum), débris de cadres en plomb, des grains de collier en succin, une plaque de lignite jayet taillée rectangulairement, etc.

Au-dessous du niveau où abondaient les médailles se trouvait une quatrième couche (b'') qui, sans frapper tout d'abord autant l'attention que la découverte archéologique, n'est certes pas moins remarquable. Cette couche, de 5 centimètres environ, est formée de fragments pierreux, principalement de grès grisâtre avec quelques silex. Au lieu d'être restés isolés, ces fragments étaient plus ou moins solidement cimentés par des substances à éclat

(*) Dont l'une paraît représenter un homme blessé à la jambe, l'autre une tête de serpent.

métallique et très-nettement cristallisées. Parmi les menus morceaux de grès retirés du puisard, il en est un certain nombre qui présentent des empreintes de cubes, plus ou moins déformés, telles que certaines couches du trias en renferment en divers pays et dont la forme paraît résulter d'un moulage de cristaux cubiques de sel gemme, par le sable, lorsque la roche était en voie de formation.

Ce conglomérat renfermait également de très-nombreuses médailles, des centaines et même très-probablement des milliers; mais beaucoup ont disparu, quelquefois en laissant leur empreinte, pour donner naissance aux substances cristallisées dont il va être question. Parfois ces minéraux, de formation nouvelle, ont agglutiné le sable quartzeux qui enveloppait la médaille, de manière à présenter la forme d'un sphéroïde aplati, rappelant dans son ensemble celle de certains oursins.

On put alors reconnaître que le puits qui servait de réceptacle à l'eau minérale avait été établi avec le discernement et l'habileté dont de nombreux travaux analogues, exécutés sur beaucoup de points de la Gaule et ailleurs, par les Romains, apportent la preuve (*fig.* 1, Pl. XIII). Le mur rectangulaire qui en forme les parois, et dans l'intérieur duquel la source devait s'élever et rester isolée, était construit avec les plus grandes précautions. Ce mur, qui repose sur pilotis, n'a pas moins de 1^{m},56 d'épaisseur. Il se compose de quatre parties juxtaposées qui sont, en commençant par l'intérieur, composées comme il suit : 1° pierres de taille (calcaire oolithique) C, épaisseur 0^{m},30; 2° béton B, 0^{m},40; 3° pierres de taille (calcaire oolithique) C, 0^{m},50; 4° grès, moellons et briques M, 0^{m},33. Des galeries antiques aboutissant au fond de ce puits ont conduit elles-mêmes à d'autre découvertes.

Des sondages exécutés en 1858 et dans les années suivantes avaient rencontré, dans le voisinage du puits, les argiles bariolées qui recouvrent le grès bigarré propre-

ment dit, et supportent le calcaire du muschelkalk. Il est à remarquer qu'au lieu d'atteindre immédiatement ces argiles, le sondage de 1874 traverse d'abord du sable *s*, jusqu'à 32 mètres au-dessous du sol, c'est-à-dire sur 22 mètres de profondeur. Ce sable paraît enclavé au milieu des argiles, en forme d'entonnoir ou de colonne, s'amincissant vers le bas. On a ensuite percé les argiles jusqu'à la rencontre du grès bigarré proprement dit, et l'on s'est arrêté à 55^m,45 de la surface. L'eau minérale surgit à travers le sable, qu'elle a en partie entraîné avec elle jusque dans le puisard.

La couche cimentée du fond du puisard, siége des principales réactions chimiques, était interrompue au centre de ce puisard, sur 20 à 30 centimètres de diamètre, sans doute à cause de la force ascensionnelle de l'eau, qui a même corrodé une partie du béton établi dans le voisinage de la colonne ascendante.

Division du mémoire. — Pour rendre compte des diverses espèces minérales rencontrées à Bourbonne, nous passerons successivement en revue :

1° Celles qui se sont formées aux dépens du bronze;

2° Celles auxquelles l'attaque du plomb a donné naissance;

3° Celles qui ont été formées par le fer, et particulièrement la pyrite;

4° Les zéolithes et autres minéraux engendrés dans le béton, par une réaction sur les substances que renferment ces maçonneries;

5° La minéralisation ou fossilisation des débris organiques, végétaux ou animaux;

6° L'apport de silicates d'alumine hydratés et d'autres substances déposées sous forme de boue;

7° Les érosions remarquables produites dans le fond du puisard sur des pierres de taille en calcaire;

8° La nature des sables à travers lesquels jaillit la source thermale.

1° Minéraux formés aux dépens du bronze, chalkosine, chalkopyrite, philippsite, tétraédrite, cuprite, atacamite, chrysocole.

Parmi les minéraux associés aux médailles et autres objets en bronze, j'ai reconnu les espèces signalées ci-après :

Chalkosine. — La chalkosine ou cuivre sulfuré est en cristaux très-nets, qui ont la forme de tables hexagonales, bordées de biseaux dans tout leur pourtour. Ces cristaux sont parfois maclés deux à deux, en croix, suivant la disposition fréquente dans les cristaux naturels. Ils sont comparables à ceux de Redruth en Cornouailles, connus dans toutes les collections pour la netteté de leurs formes et pour leur éclat.

Un enduit bleuâtre, dans lequel on distingue au microscope des lamelles hexagonales, offre les caractères d'un sulfure naturel de cuivre, plus riche en soufre, comme la covelline.

Chalkopyrite. — La chalkopyrite, ou cuivre pyriteux, n'est pas seulement reconnaissable à sa couleur jaune caractéristique, mais aussi à la forme cristalline en octaèdres; elle s'est aussi déposée sous la forme mamelonnée.

Philippsite. — D'autres parties, fortement irisées, affectent la forme d'octaèdres réguliers et de cubes à faces un peu courbes, et appartiennent certainement à la philippsite ou cuivre panaché, dont ils offrent toutes les particularités.

Tétraédrite. — Les cristaux qui se sont formés avec le plus d'abondance ont la forme de tétraèdres réguliers bordés d'un biseau, $\frac{1}{2}(a^2)$; non-seulement ils ont la forme du cuivre gris, mais ils en ont l'éclat et les autres caractères.

L'analyse d'un échantillon cristallisé, séparé autant que possible du cuivre pyriteux qui y adhérait assez fortement, a été faite au bureau d'essais de l'École des mines; la faible quantité de matière dont on pouvait disposer n'a permis que d'y doser les corps suivants :

Soufre	23,44
Antimoine	26,60
Arsenic	traces faibles
Cuivre	43,20
Fer	4,00
Nickel	traces notables
Étain	traces notables
Total	97,24

La densité de la substance a été trouvée 5,137.

C'est donc un cuivre gris antimonial ou tétraédrite (panabase); il représente un type à peu près exempt d'arsenic.

La tétraédrite s'est formée, soit en cristaux isolés, soit en croûtes cristallines; l'une de ces croûtes atteint de 2 à 3 millimètres d'épaisseur.

Les quatre espèces qui viennent d'être signalées sont souvent réunies dans une seule pièce.

Débris végétaux, noisettes, etc. — De nombreux morceaux de bois sont disséminés au milieu de ces cristallisations; ce bois a pris une teinte d'un brun clair, qui se rapproche de celle de certains lignites où la structure ligneuse s'est conservée. Des coques de noisettes et des noyaux de fruits, les uns et les autres également brunis, y sont associés en grand nombre.

Mode de formation des minéraux qui précèdent. — Pour expliquer la formation de ces minéraux métalliques, au milieu de la boue, sous l'influence de l'eau minérale qui la traverse sans cesse, on est amené à admettre que les sulfates en dissolution, sous l'influence des matières végé-

tales qui étaient en présence, se sont en partie réduits à l'état de sulfures. Cette sorte de réduction, dont on connaît bien d'autres exemples, paraît être aidée, conformément à la loi de Berthollet, par la nature insoluble des sulfures métalliques qui en sont le produit.

Il est remarquable que, au milieu de ces circonstances fortuites, le sulfate complexe désigné sous le nom de tétraédrite se soit formé avec une netteté si parfaite, appelant l'antimoine et les autres éléments, comme par une sélection et en vertu de lois d'équilibre. Ce minéral ainsi que la chalkopyrite, la philippsite et la chalkosine, produits les uns à côté des autres, dans des circonstances de composition et de température probablement assez analogues, apportent des exemples de la grande tendance de certaines combinaisons naturelles à se former, même au moyen de substances qui se rencontrent dans des proportions indéfinies.

Provenance de l'antimoine entré en combinaison. — La présence de l'antimoine, élément essentiel de la tétraédrite, est de nature à surprendre ; car ce métal, dont on a reconnu des traces dans les sources minérales de diverses localités, n'a pas été signalé, au moins jusqu'à présent, dans celles de Bourbonne-les-Bains.

C'est donc vraisemblablement aux objets enfouis dans le puisard que ce métal a été emprunté. Les Romains, sans connaître l'antimoine métallique, employaient plusieurs de ses combinaisons, par exemple le sulfure, pour peindre le contour des yeux. Aucune substance visiblement antimoniale n'a été mentionnée parmi les objets découverts dans les boues du puisard; mais cet antimoine peut avoir été fourni par certaines médailles. On peut le supposer, d'après les nombreuses analyses de bronze antique dont on est redevable à M. de Fellenberg ; quelques-unes y mentionnent l'antimoine (dans la proportion de 0,001 à 0,006).

La présence de l'antimoine dans quelques minerais de cuivre, et notamment dans le cuivre gris, rend compte de ce mélange, aussi bien que de l'existence du cobalt et du nickel et d'autres métaux accidentels dans les mêmes bronzes antiques.

Dans le but de rechercher plus exactement d'où pourrait provenir l'antimoine qui a servi à former des cristaux de cuivre gris antimonial ou tétraédrite dans le puisard romain des thermes de Bourbonne, on a soumis à l'analyse chimique trois médailles, l'une de bronze (*a*), qui était incrustée de cette substance, une autre en bronze du voisinage de la première et non incrustée (*b*), et une troisième en laiton (*c*). Les résultats qui ont été obtenus au bureau d'essais de l'École des mines sont les suivants :

	(*a*)	(*b*)	(*c*)
Cuivre.	79,00	75,86	81.40
Etain.	10,50	6,60	0,60
Plomb.	9,60	16,16	1,84
Fer.	0,50	0.60	0,30
Antimoine.	absence.	absence.	absence.
Zinc.	»	»	15,54
	99,60	99,22	99,68

On a donc constaté l'absence de l'antimoine et, en même temps, une forte proportion de plomb qui, dans l'un des deux bronzes, s'élève à 16 p. 100.

Le même bureau d'essais a aussi procédé à l'examen d'un échantillon de plomb, partiellement oxydé et passé à l'état de carbonate et de sulfate, qui se trouvait dans le voisinage; on n'y a pas non plus trouvé d'antimoine, mais on y a constaté 10,40 p. 100 d'étain ; ce dernier métal y avait probablement été ajouté artificiellement (*).

Faible teneur en argent d'un plomb essayé. — J'ajouterai que, dans un autre échantillon de plomb, l'argent a été

(*) Voir le résultat de l'analyse à la fin de ce mémoire, p. 484.

reconnu, comme il arrive d'ordinaire dans les plombs antiques, n'être que dans une très-faible proportion (0,00004). On sait que le procédé de séparation de l'argent du plomb par la coupellation, était connu dès une antiquité très-reculée, ainsi que l'attestent certains passages de la Bible.

La formation du cuivre gris est particulièrement remarquable. — Déjà le cuivre sulfuré avait été obtenu par M. Becquerel dans des réactions lentes. Des cristaux très-nets de cette substance avaient d'ailleurs été rencontrés à Plombières dans des conditions analogues à celles des thermes de Bourbonne, c'est-à-dire implantés sur un robinet romain en bronze, qui était plongé dans l'eau minérale (*).

D'un autre côté, quelques médailles romaines extraites du bassin des sources de Bagnères-de-Bigorre, étaient transformées en une substance offrant les caractères de la chalkopyrite, mais sans cristallisation déterminable (**).

Quant à la philippsite de formation moderne, elle n'avait pas encore été signalée en cristaux bien caractérisés, comme celle de Bourbonne. Cette dernière rivalise avec la philippsite des anciens gisements, qui n'a pas ordinairement des formes plus nettes.

Mais ce que la découverte de Bourbonne-les-Bains offre de plus nouveau, c'est la formation du sulfure double de cuivre et d'antimoine constituant l'espèce tétraédrite.

La pyrite cuivreuse, bien que souvent recouverte par le cuivre gris, s'est parfois aussi superposée à sa surface

---

(*) Observations sur le métamorphisme et recherches expérimentales, sur quelques agents qui ont pu le produire (*Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII, p. 294, 1857. *Comptes rendus*, t. XLV, p. 792.

(**) Formation contemporaine de la pyrite cuivreuse, sous l'action d'eaux thermales, à Bagnères-de-Bigorre. *Bulletin de la Société géologique*, 2ᵉ série, t. XIX, p. 529, 1862.

en enduits minces, comme il est arrivé parfois dans les filons. L'ordre de succession des diverses espèces ne paraît donc pas avoir été constant dans la source de Bourbonne.

Ressemblance frappante de la minéralisation contemporaine avec celles des anciennes périodes. — Dès qu'on jette un coup d'œil sur les minéraux contemporains dont il s'agit, on est frappé de la ressemblance que, dans leur disposition générale, ils présentent avec ceux des anciennes époques. Ainsi, par la manière dont ils se sont précipités au milieu des fragments pierreux, ils rappellent bien les brèches à ciment métallique, si fréquentes dans les filons; ils ressemblent également aux poudingues, avec galène du grès bigarré du Bleyberg, près Commern, en Prusse et, mieux encore, en raison de leurs nombreux débris végétaux, aux poudingues et grès cuprifères exploités dans le pays de Perm, en Russie.

Ce sont donc des imitations contemporaines de minéraux abondants dans les gîtes métallifères.

Oxyde d'étain formé aux dépens du bronze. — Parmi les modifications qu'ont subies les médailles de bronze dans les réactions auxquelles sont dus les nouveaux composés, il est une épigénie qui ne doit pas être passée sous silence. Tout en ayant perdu la netteté de son relief, la médaille a souvent conservé sa forme générale. Tandis que sa partie interne montre encore l'éclat et la couleur du bronze, sa partie externe se compose d'une couche blanche, d'apparence terreuse, que l'examen chimique a fait reconnaître comme consistant en oxyde d'étain, faiblement coloré en vert par des traces de sels cuivreux. Il s'est donc produit dans ces pièces un véritable départ, en raison de la différence des affinités chimiques des métaux qui les composaient : le cuivre est entré dans les combinaisons sulfurées, tandis que l'étain s'y est refusé et a passé à l'état d'oxyde.

Conditions analogues de l'étain dans les filons. — Ce contraste rend bien compte de plusieurs traits caractéristiques du gisement de l'étain qui, on le sait, s'est toujours déposé à l'état d'oxyde (*), lors même qu'à côté de lui, dans le même filon, et parfois à une très-faible distance, il s'est formé des combinaisons sulfurées, comme le mispickel.

Quant à l'antimoine, malgré ses analogies avec l'étain, il s'est comporté autrement : car, de même que dans les gîtes métallifères, il s'est ici associé de préférence au soufre.

Conditions dans lesquelles se sont produites ces cristallisations. — Toutes les causes d'actions électro-chimiques étaient réunies au milieu de ces nombreuses pièces de métaux différents, qui étaient enfermées dans de l'argile et, en même temps, soumises à des eaux chargées de dissolutions salines.

L'ensemble de ces actions s'est produit depuis environ seize siècles ; mais chacun de ces dépôts, considéré isolément, peut avoir exigé beaucoup moins de temps pour se former, parce que, avec le temps, les actions paraissent s'être déplacées, c'est-à-dire avoir cessé sur certains points pour se porter sur d'autres.

Mode d'altération des médailles en bronze et en laiton. — Les pièces de bronze et de laiton ont, en général, été attaquées par l'eau minérale ; mais les unes et les autres l'ont été d'une manière très-inégale. Quelques-unes ont conservé assez nettement leur relief et même leurs légendes ; sur d'autres, le relief a été tout à fait corrodé ; d'autres ont été dissoutes assez profondément pour qu'elles soient percées et qu'elles ne soient plus représentées que par des

(*) La combinaison sulfurée, dite pyrite d'étain, est d'une rareté extrême, et doit être considérée comme tout à fait accidentelle.

lambeaux minces et déchiquetés. Il en est enfin qui ont complétement disparu, ne laissant que leur empreinte, au milieu des combinaisons sulfurées auxquelles elles ont donné naissance. Ces différences très-grandes dans le mode d'altération paraissent correspondre, non-seulement à la nature diverse des alliages, mais aussi aux situations variées que ces médailles occupaient dans l'espèce d'appareil électro-chimique auquel elles étaient soumises. Celles qui sont aujourd'hui empâtées dans la brèche à sulfures métalliques ont été particulièrement attaquées, ainsi d'ailleurs que pouvait le faire supposer l'abondance des produits formés à leurs dépens.

Nombre considérable de médailles de bronze et d'argent empâtées dans la brèche. — Au recensement des médailles disséminées dans la boue du puisard, qui a été donné plus haut, il faut par conséquent en ajouter un très-grand nombre d'autres, certainement au delà d'un millier, qui étaient empâtées dans le conglomérat. Quoiqu'elles aient entièrement disparu, elles sont encore représentées par leurs empreintes ou par des encroûtements cristallisés en forme de rognons ovoïdes et aplatis, qui se sont produits autour d'elles et qui ont été signalés plus haut.

Différence avec la conservation des médailles d'argent. — Les médailles d'argent, celles même qui sont disséminées dans la brèche à sulfures métalliques, n'ont pas été en général attaquées comme celles de bronze ; leur relief est encore très-reconnaissable, à moins, toutefois, qu'il ne soit accidentellement incrusté de sulfures produits par le bronze, dans leur voisinage. Cela explique comment l'argent, dont on connaît l'affinité pour le soufre, n'a pas été rencontré, à l'état de sulfure, parmi les combinaisons métalliques qui nous occupent. On ne l'y a pas non plus trouvé à l'état de chlorure, comme aurait pu le faire d'abord

supposer l'abondance des chlorures solubles contenus dans les eaux ambiantes.

Les médailles d'argent fournissent donc des documents particulièrement intéressants pour l'archéologie.

Cuprite formée à l'intérieur d'une tête de bronze. — Des objets en bronze, autres que des médailles, ont été également soumis à des réactions ; de ce nombre est une tête en bronze doré, d'un beau style, qui a été trouvée à $4^m,50$ de profondeur, à proximité des escaliers des piscines, et près d'une niche en briques ayant 3 mètres de hauteur. La dorure de cette tête, qu'on peut attribuer à la déesse *Damona*, a été appliquée sous forme d'une feuille d'or dont il reste encore des vestiges. Dans son intérieur, au milieu d'une masse effervescente formée de carbonate de chaux, on distingue beaucoup de petits cristaux rouges, dont les caractères sont ceux de la cuprite. A sa surface externe, la même tête offre une poudre noire qui donne les réactions du cuivre et de l'étain, et qui paraît résulter d'une oxydation.

Cuprite, mélaconise et chrysocole dans un tuyau de bronze. —Dans un tuyau de bronze dont il sera question plus loin comme servant de raccordement avec les tuyaux de plomb, on distingue, comme dans la tête de bronze, des cristaux octaédriques à poussière rouge brunâtre, donnant avec le borax la réaction du cuivre et consistant en cuprite. Ces cristaux sont associés à une matière noire pulvérulente, donnant les réactions de l'oxyde noir de cuivre, et paraissant une variété terreuse de mélaconise.

Ces deux oxydes sont accompagnés d'une substance amorphe, verte, à cassure conchoïdale, translucide, fragile, à poussière blanc verdâtre, devenant noire à la flamme oxydante, donnant au chalumeau les réactions du cuivre avec un squelette de silice, et décomposable par l'acide chlorhydrique en laissant de la silice gélatineuse comme résidu ; c'est donc de la chrysocole.

Atacamite. — Un autre tuyau de bronze présente à son intérieur un enduit vert qui donne les réactions du cuivre et du chlore, et qui consiste en oxychlorure de cuivre ou atacamite.

Tandis qu'aucune combinaison oxydée du cuivre n'avait été rencontrée au milieu des médailles, nous en rencontrons qui se sont produites dans ces trois dernières circonstances.

Cuivre natif. — Enfin un clou en bronze, trouvé à 3m,50 de profondeur, présente aussi de la cuprite en octaèdres, avec du cuivre métallique qui paraît résulter d'une décomposition du bronze et qui ressemble au cuivre natif.

Mode d'attaque du cuivre rouge par l'eau thermale. — A ces observations relatives aux minéraux formés à une certaine profondeur, j'en ajouterai une sur le mode d'attaque du cuivre rouge, par l'eau minérale, dans certaines conditions particulières.

Des tubes verticaux en cuivre rouge servaient à l'ascension de l'eau du forage n° 10. Un chapeau percé de trous en tête d'arrosoir, qui termine ces tubes à leur partie supérieure (*fig.* 2, Pl. XIII), était partiellement émergé; de plus, le niveau de l'eau qui le mouillait était variable à chaque instant, par suite du dégagement de bulles de gaz qui le faisaient alternativement monter et descendre. Sur la partie où ils étaient complétement immergés dans l'eau thermale, ces tubes ne s'altéraient aucunement, non plus que dans la partie habituellement sèche; mais la zone de 9 centimètres de hauteur, qui était successivement mouillée et exposée à l'air, s'attaquait lentement; il a suffi de l'espace de trois ans pour que la feuille se dissolvît complétement.

Un fait analogue s'est produit au sondage n° 12, ou fontaine chaude, mais ici, sur un tube horizontal et de disposition différente (*fig.* 3). Dans ce sondage le niveau de l'eau était variable aussi, mais à plus longs intervalles,

parce que cette source artésienne, en dehors de la saison balnéaire, devait donner de l'eau, non plus à l'établissement, mais aux habitants.

Quelle est la cause de cette dissolution du cuivre? Les pellicules noires très-minces, dont le métal se recouvre préalablement, ne renferment pas de traces de soufre. Ce n'est donc pas à l'état de sulfure que le cuivre disparaît, ainsi qu'on pouvait d'ailleurs le supposer, puisque l'action de l'atmosphère intervient. L'enduit dont il s'agit paraît être de l'oxyde noir du même métal. Cet oxyde, produit par l'action de l'humidité et de l'oxygène atmosphérique, disparaît peu à peu, emporté par l'eau thermale, soit à l'état de dissolution, à la faveur des diverses substances minérales que renferme cette eau, soit simplement entraîné mécaniquement à raison de sa friabilité.

2° Minéraux auxquels l'attaque du plomb a donné naissance : anglésite, cérusite, phosgénite, galène.

Tuyaux de plomb immergés dans l'eau thermale. — Des tuyaux de plomb ont été rencontrés en grand nombre dans les galeries des Romains, et dans le voisinage de somptueuses piscines en marbre blanc. Ces tuyaux, dont la section est celle d'une poire, sont formés d'une feuille repliée sur elle-même, puis soudée au plomb *s*, suivant le procédé alors en usage (*fig.* 4, Pl. XIII). Il est de ces tuyaux (*) qui sont disposés horizontalement et qui portent l'inscription *cocillus f.* Leur longueur atteint 2^{m},40. Les brides n'étaient pas employées alors, comme elles le sont aujourd'hui pour l'assemblage des tuyaux : ils ont été emmanchés l'un dans l'autre, puis soudés. De plus, ils étaient enveloppés d'une couche de béton B de 15 centimètres d'épaisseur

(*) Rencontrés dans la partie des fouilles, située au sud du nouveau puisard, et à 5 mètres de profondeur.

et ainsi disposés entre deux pierres de taille G convenablement évidées (*fig.* 5). D'autres tuyaux de plomb placés verticalement ont été trouvés dans un puits à l'intérieur de l'établissement militaire (source n° 2). Ces derniers présentent l'inscription *Cinnamus fec.*

Emmanchements de bronze assemblant les tuyaux verticaux. — Au lieu d'être soudés comme les précédents, ce à quoi s'opposait leur disposition verticale, ces derniers tuyaux étaient réunis par des emmanchements en bronze (*b*, *fig.* 6) qui servaient de brides. Une soudure *s* était appliquée à la jonction du plomb et du bronze, ainsi que sur la séparation des deux tuyaux en bronze. Ces deux derniers avaient été probablement tournés et alésés, puis étamés, comme on le fait encore aujourd'hui, afin de donner de l'adhérence à la soudure ; la pellicule d'étain appliquée dans ce but est encore bien visible. Une bague en plomb *t*, placée à l'intérieur, dans une cavité réservée, et soudée à l'avance, avait été mattée par force dans l'ajustage du tuyau, par un emmanchement conique qui était ajusté avec beaucoup d'exactitude (*).

Érosions subies par ces tuyaux. — Ces tuyaux en plomb offrent des preuves évidentes de l'action énergique que l'eau minérale a exercées sur eux.

L'un des tuyaux horizontaux (*cocillus*), provenant des piscines découvertes dans la chambre des nouvelles pompes de l'établissement civil, était enveloppé de béton (*fig.* 5). Il a été fortement rongé, de l'intérieur à l'extérieur, sous forme de cavités arrondies, à peu près hémisphériques, et parfois assez profondes pour avoir amené une perforation

(*) L'intérieur du tuyau de plomb présente des rainures qui paraissent résulter du frottement qu'il a subi de la part des tuyaux de bronze. Les dimensions des tuyaux de bronze sont : diamètre intérieur $0^m,08$ à $0^m,10$, et épaisseur 15 millimètres environ.

complète, quoique l'épaisseur du tuyau approche d'un centimètre. La surface extérieure de ce même tuyau a été elle-même rongée, mais moins profondément, de l'extérieur à l'intérieur, probablement après que l'eau thermale n'ayant plus son cours dans le tuyau s'était épanchée au dehors.

On s'est souvent occupé des altérations que l'eau peut faire subir au plomb des tuyaux de conduite. On voit par la forme et par la profondeur de ces cavités, combien l'action a été énergique, dans le cas d'une eau thermale et minéralisée comme celle de Bourbonne; car ces perforations paraissent remonter à l'antiquité.

Phosgénite produite en abondance.— Des cristaux blancs, d'un éclat adamantin, enveloppent le tuyau horizontal ainsi perforé, sur une épaisseur variable, qui va jusqu'à 8 ou 10 centimètres. Ces cristaux donnent à la fois les réactions du plomb, de l'acide carbonique et du chlore. Leur forme est celle d'un prisme à huit pans, dont tous les angles sont égaux. Ils présentent la forme primitive h^1, avec une troncature sur les arêtes verticales h^2; ils ont un clivage parallèle à la base du prisme. La croix noire qu'ils montrent sous l'action de la lumière polarisée, indique qu'ils sont doués de la double réfraction à un axe. Ces cristaux offrent donc les caractères chimiques et cristallographiques de la phosgénite.

Un tuyau de plomb vertical, trouvé à la source militaire n° 2, et marqué du nom de *Cinnamus*, entoure un tuyau de cuivre à peine altéré. Sa surface extérieure est également recouverte d'une couche de phosgénite cristallisée, dont l'épaisseur est de 2 à 3 millimètres.

La phosgénite qui a été rencontrée en grands cristaux, en Derbyshire, à Crawford près Matlok, en Écosse, en haute Silésie et en Sardaigne (*) est une espèce rare. Ce-

(*) Les formes de cette espèce ont été examinées par M. de Kokscharow, *Bulletin de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, t. IX, p. 231, 1865.

pendant elle s'est reproduite ici en abondance, probablement sous l'influence du carbonate de chaux du béton.

Galène associée à la phosgénite. — Sur cet encroûtement de phosgénite est un enduit métallique, d'un gris bleuâtre, qui n'est autre chose que de la galène, offrant en quelques points de très-petits cristaux.

Gypse cristallisé. — Il est à ajouter que cette galène est mélangée de gypse, soit en petits cristaux, soit en plaquettes. La présence des sulfates dans l'eau minérale, et celle de la chaux dans les bétons rendent facilement compte de la formation de cette dernière combinaison.

D'après la disposition des trois substances ainsi associées, la galène paraît résulter de la décomposition de la phosgénite, sous l'influence combinée des matières organiques réductrices et du gypse, ou des eaux sulfatées qui déposaient le gypse.

Des enduits de galène ont aussi été trouvés sur les tuyaux *Cocillus*.

Température peu élevée à laquelle la galène s'est formée. — On sait que la galène se reproduit facilement par voie sèche; d'un autre côté elle est du nombre des minéraux sulfurés que de Sénarmont a imités par voie humide, dans de l'eau chauffée à environ 250 degrés; mais à Bourbonne, c'est à une température beaucoup moins élevée qu'on voit cette espèce se produire, avec son éclat métallique et sa teinte bleuâtre habituelle.

L'intérieur des deux tuyaux de plomb, dont il vient d'être question ne présente que des érosions et pas de dépôts : ces derniers se sont portés au dehors. La phosgénite a également pénétré dans l'intérieur de béton enveloppant le tuyau, et particulièrement, dans les vacuoles qui y abondent. Il s'y est formé un enduit noir de galène et de gypse[1], semblable à celui qui a été mentionné plus

haut. Quelques cristaux très-petits de galène se sont également déposés sur la phosgénite qui tapisse ces cavités.

Enfin le même minéral s'est produit sur une soudure de manchons de plomb avec des tuyaux de bronze.

Anglésite formée par un scellement au plomb. — On a trouvé un anneau de fer scellé au plomb, près des piscines en marbre, dans une dalle de grès qui devait servir de regard à un canal de vidange, à en juger par une tringle en fer qu'on a introduite jusqu'à 1m,50 de profondeur. Ce scellement montre des cristaux incolores, transparents, en tables rectangulaires avec biseaux, qui ne sont autres que de l'anglésite.

Phosgénite sous la forme cubique, comme épigénie de galène. — A ces cristaux d'anglésite sont associés des cristaux gris, à éclat gras, de forme cubique et qu'on prendrait pour de la galène; cependant ils ne présentent pas les clivages de cette substance; leur poussière est grisâtre; ils donnent les réactions du chlore et de l'acide carbonique en même temps que du plomb; ils paraissent avoir la composition de la phosgénite. Au lieu d'être microscopiques, ces cubes, qui ont probablement appartenu à de la galène avant l'épigénie, ont environ 1 millimètre de côté.

Il n'est pas rare dans les gîtes métallifères de trouver également des minéraux oxydés de plomb, cérusite, anglésite ou pyromorphite, qui se sont substitués à la galène (*). C'est l'effet d'une action semblable à celle dont on vient de signaler les effets contemporains.

D'ailleurs l'association de la galène à l'anglésite, dont il vient d'être question, rappelle celle que l'on connaît dans certaines localités, par exemple à Pallières, département du Gard, où ces deux substances sont mélangées intimement et accompagnées de pyrite.

(*) Sainte-Marie en Alsace, Leadhills en Écosse, Mies en Bohême. Blum, *Pseudomorphosen*, t. I, p. 31, 181 et 184.

Composition des soudures du plomb sur bronze et de bronze sur bronze. — Sur la jonction des deux tuyaux en bronze qui sont juxtaposés bout à bout, se trouve, sous un manchon de plomb, un enduit épais d'une substance noirâtre qui paraît avoir été appliquée pour servir de soudure; toutefois, dans le cours des siècles, cette soudure a probablement subi une modification sous l'influence de l'eau thermale.

L'analyse de cette soudure, qui a été faite au bureau d'essais de l'École des mines, a donné les résultats suivants sur 100 parties :

Étain	3,00
Cuivre	6,60
Plomb	68,60
Antimoine	absence.
Fer	1,30
Soufre	15,30
Résidu argileux	4,30
	99,10

Dans l'action de l'eau thermale sur cette soudure, comme dans la formation de la galène aux dépens du plomb, on trouve un exemple de la tendance des métaux à se sulfurer dans une eau thermale, lors même que celle-ci ne renferme que des sulfates sans sulfure à l'état normal.

Structure du plomb.— Les feuilles de ces tuyaux se sont divisées par des fissures de retrait, perpendiculairement à leur surface principale, sans perdre leur ductilité. Il en est de même à Plombières, et c'est un fait qui a d'ailleurs été observé encore dans d'autres circonstances (*).

Oxyde de plomb ou litharge. — De l'oxyde de plomb en

(*) On a essayé dans ces derniers temps, en Angleterre, de transporter l'acide sulfurique dans des vases en plomb montés dans du bois. D'après des échantillons qui m'ont été récemment montrés par M. le professeur Percy, le plomb, au bout de quelques jours, présentait un retrait du même genre; aussi a-t-on dû renoncer à ce procédé de transport.

paillettes orangées et translucides s'est déposé dans beaucoup de ces fissures. Le même fait s'est produit à Plombières.

Composition de deux échantillons de plomb. — L'analyse de deux échantillons de plomb rencontrés dans les substructions de Bourbonne a donné des résultats consignés plus haut.

3° Combinaisons nouvelles formées par le fer : peroxyde hydraté, silicate, carbonate, bisulfure ou pyrite.

Peroxyde de fer avec silice combinée. — Le fer qui se trouvait immergé dans l'eau thermale de Bourbonne, ne s'est pas transformé en une rouille ordinaire. Comme exemple de l'action de l'eau thermale sur ce métal, je mentionnerai une ferrure en bois qui y était plongée depuis dix ans seulement. Un essai chimique fait sur le produit de l'oxydation de cette ferrure montre qu'il contient de la silice faisant gelée sous l'influence des acides (3,50 p. 100), et qui par conséquent était combinée au peroxyde de fer.

En même temps que le fer a été attaqué par l'eau, le bois qui y était enchâssé a pris une teinte ocreuse, et s'est imprégné de substances inorganiques, particulièrement de peroxyde de fer, mélangé aussi de silicate, ainsi que de carbonate de chaux, et peut-être de carbonate de protoxyde de fer (*).

Cet exemple de l'affinité de l'acide silicique pour le fer a son analogue à Plombières, où le fer, en s'oxydant dans l'eau thermale, a produit également un silicate hydraté (**).

(*) Les résultats de l'analyse de ces bois ferrugineux de Bourbonne et de Plombières sont consignés à la fin de ce mémoire.

(**) Une substance vitreuse à teinte translucide, d'un rouge foncé, comme la goethite, et donnant une gelée sous l'action des acides, qui a été rencontrée à Plombières, ressemble à la mélanosidérite récemment décrite par M. Cooke (*Proceedings of American Acad. of Arts and Sciences*, 1875, t. XVIII; *Leonhards Jahrbuch*, 1875, p. 651).

Formation de bisulfure ou pyrite. — Parmi les combinaisons nouvelles formées par le fer, la pyrite mérite une attention particulière. Cette substance n'a pas été observée au milieu des divers sulfures cuivreux et cristallisés qui se sont déposés autour des médailles romaines; mais elle s'est produite à peu de distance de ces incrustations et dans deux parties différentes du sous-sol.

D'abord dans un sondage pratiqué sur le point même d'émergence de la source, la sonde a ramené de petits galets et des grains de quartz, ainsi que des fragments anguleux de grès bigarré. Quelques-uns de ces grains ou fragments quartzeux sont enveloppés de pyrite de fer. Cette substance s'est déposée à leur surface, tantôt comme un enduit jaune, brillant et amorphe, tantôt en croûtes éminemment cristallines, dans lesquelles on aperçoit de nombreuses faces triangulaires; la pyrite, au lieu d'être répartie uniformément, forme quelquefois des traînées allongées.

Ce qui montre bien que cette pyrite est de formation contemporaine, c'est qu'elle s'est appliquée, exactement avec les mêmes caractères, sur quelques-uns des silex taillés de main d'homme, en forme de couteau, et rencontrés au fond du puisard romain avec d'autres objets antiques.

Cette pyrite, par la manière dont elle s'est déposée, rappelle tout à fait celle qui a été rencontrée dans le bassin de plusieurs sources thermales que l'on a eu occasion de fouiller, notamment dans celles d'Aix-la-Chapelle et de Bourbon-Lancy. Ce sont visiblement, de même que les sulfures cuivreux associés aux médailles, des dépôts formés par l'eau minérale sur son trajet. La source de Bourbonne renferme du fer; mais l'oxyde de fer, naturellement mélangé aux argiles, peut aussi avoir passé à l'état de sulfure, par suite de la réduction des sulfates tenus en dissolution.

En outre, le sable quartzeux accumulé au-dessous du

puisard et rapporté également par la sonde a été soumis à un lavage, de manière à en séparer les parties les plus lourdes. On y a distingué alors d'innombrables petits grains de pyrite hérissés de cristaux et ayant un diamètre de moins d'un quart de millimètre. Quelques-uns de ces grains ont des formes irrégulières et paraissent être les débris d'enduits semblables à ceux qui viennent d'être signalés; d'autres sont arrondis comme des réductions en miniature des rognons de pyrite que l'on rencontre dans divers terrains. Quelques-uns enfin paraissent cubiques.

Secondement, en visitant attentivement les briques d'un carrelage romain établi au-dessous d'un canal de conduite d'eau (*fig.* 7, Pl. XIII), j'y ai également reconnu la présence de la pyrite.

Ce minéral s'est produit au milieu de la chaux qui enveloppe chaque brique, dans de petites cavités ; il se présente en globules d'un jaune de laiton, terminés par des faces cristallines ; mais ces faces sont si petites que l'on n'a pu acquérir la certitude qu'elles appartiennent à la pyrite cubique et non à la marcassite. Toutefois, leur belle couleur jaune et leur inaltérabilité rendent la première supposition la plus probable.

Des cristaux de calcite d'une limpidité rare et montrant la forme d'un rhomboèdre très-aigu, se sont formés, avec la pyrite, dans ces petites géodes.

Il est remarquable que les boursouflures des briques du carrelage dont il s'agit ne renferment pas seulement des enduits de zéolithes, mais aussi des noyaux de calcite cristalline. Ebelmen a montré comment la réaction du sulfate de chaux sur l'oxyde de fer, en présence des matières organiques, peut produire du bisulfure de fer et du carbonate de chaux avec dégagement d'acide carbonique. La présence de la calcite, intimement associée à la pyrite dans le carrelage de Bourbonne, correspond peut-être à une réaction analogue.

Tandis que la pyrite de formation contemporaine que l'on a signalée dans quelques localités s'est, en général, appliquée en enduits amorphes, celle qui vient d'être mentionnée à Bourbonne se distingue par un état cristallin.

Quant à la pyrite du carrelage, elle rappelle, par sa dissémination dans la chaux, la manière d'être de la même espèce minérale à l'intérieur de beaucoup de roches de formation ancienne, entre autres celle qui imprègne des calcaires de divers âges, par exemple ceux de l'époque carbonifère (marbre dit petit granite), ou jurassique, ainsi que les schistes alunifères ou les combustibles.

Vivianite terreuse. — Dans diverses parties du béton, la chaux attire l'œil par une couleur bleue ; c'est constamment autour de menus débris de bois que la substance de cette couleur s'est déposée, sous forme d'enduits très-minces et pulvérulents. L'absence de soufre qui y a été constatée au chalumeau montre qu'elle diffère de la lazulite : c'est de la vivianite, dont le phosphore a visiblement été fourni par le bois. Cette association de la vivianite avec des végétaux en décomposition est d'ailleurs la même que celle qui se rencontre fréquemment dans les dépôts tourbeux et ailleurs.

Sur un autre point, ce sont des débris de dents (de chèvre ou de bœuf), qui se sont enveloppées d'un enduit mince et fortement adhérent de vivianite.

4° Zéolithes et autres minéraux engendrés dans le béton par une réaction sur des substances que renfermaient les maçonneries.

En dehors des minéraux métalliques dont il vient d'être question, d'autres très-différents se sont produits dans certaines parties du béton, lequel, il faut se le rappeler, contient en général ici, comme dans bien d'autres constructions romaines, beaucoup de fragments de briques disséminés

dans la chaux. C'est surtout dans les boursouflures de ces briques, visibles ou microscopiques, que les substances minérales nouvelles se sont développées.

Chabasie. — Quelquefois ces cavités sont tapissées de cristaux incolores, ayant la forme d'un rhomboèdre voisin du cube et les autres caractères de la chabasie.

Christianite. — On rencontre aussi souvent, dans les mêmes géodes, des cristaux de christianite ou harmotome calcaire, maclés et ayant la forme des cristaux de la nature, comme ceux qui ont déjà été signalés à Plombières.

Zéolithe en prismes hexagonaux réguliers : Chalkomorphite? — Dans le béton d'une galerie romaine (qui avoisine le sondage n° 8 placé dans l'établissement militaire) certaines cavités renferment des cristaux très-petits, tout à fait limpides et incolores, ayant la forme d'un prisme hexagonal qui paraît régulier. Traités par l'acide chlorhydrique étendu, ils font immédiatement gelée, même à froid; la dissolution précipite par l'oxalate d'ammoniaque; de plus, si on l'évapore sous le microscope, on voit apparaître de petits cristaux cubiques. La substance est en trop petite quantité pour qu'il soit possible d'en faire l'analyse. C'est une zéolithe qui ressemble beaucoup à celle que M. de Rath a récemment découverte au lac de Laach (*), dans du calcaire enveloppé par la roche volcanique. Il y a cette différence que les cristaux de Bourbonne sont basés, au lieu d'être terminés par un pointement comme ces derniers. S'il n'y a pas identité entre les deux substances, celle de Bourbonne constituerait probablement une espèce nouvelle.

D'autres cristaux, également transparents, incolores et très-petits, sont disséminés dans la chaux du même béton,

---

(*) *Poggendorfs Annalen : Ergänzungsband*, t. VI, p. 376, 1873.

et présentent la forme de prismes allongés, sans qu'on puisse s'assurer qu'ils appartiennent au système hexagonal; car ils ne sont pas mesurables. Il serait possible qu'ils constituassent une variété de l'espèce précédente.

Substance écailleuse et mamelonnée. — Je mentionnerai encore, comme pouvant appartenir à une zéolithe différant de celles qui viennent d'être signalées des enduits mamelonnés, constitués par de petites paillettes nacrées, dont les plans sont normaux à la surface des mamelons; la substance fait gelée avec les acides.

Cristaux de nature indéterminée. — Enfin deux autres échantillons méritent d'être mentionnés, bien qu'on n'en ait pu déterminer la nature, parce qu'ils sont uniques.

L'un offre des cristaux blancs et opaques ayant tout à fait la forme et le mode de groupement du rhomboèdre inverse de la calcite; après une très-légère effervescence, ils font gelée, à la manière des zéolithes.

L'autre est en lames rhombes, très-minces, avec un biseau comme certaines tables de barytine; mais ils sont plus tendres. Ces lames se sont appliquées dans une fissure de brique.

Calcite cristallisée et aragonite. — Dans les mêmes conditions que les zéolithes, c'est-à-dire dans les boursouflures des briques, on rencontre çà et là du carbonate de chaux, sous les états de calcite et d'aragonite. Parmi les formes qu'affecte la première espèce, il convient de mentionner celle de prismes hexagonaux réguliers, terminés par un rhomboèdre, probablement le rhomboèdre primitif. Ces cristaux sont complétement limpides et incolores.

Calcite cristalline en noyaux.—En outre, dans le dallage dont il a été question plus haut, à l'occasion de la pyrite qui s'y est formée, la calcite est en masses cristallines, dans les cavités de la terre cuite qu'elle remplit totalement; elle

s'y présente, comme dans beaucoup de roches amygdaloïdes (toadstones, variolites du Drac). On sait d'ailleurs que dans bien des contrées, comme aux environs d'Oberstein et au Lac Supérieur, des roches amygdaloïdes renferment, à la fois et sur des points voisins, des zéolithes et du carbonate de chaux ; c'est un trait de plus de ressemblance, entre les actions qui y ont développé ces divers minéraux et celles qui les ont formés dans les briques de Bourbonne.

Observations sur la formation des zéolithes. — Il est certain que ces zéolithes n'existaient pas d'abord dans le béton ; elles s'y sont développées par l'action de l'eau thermale qui a traversé pendant des siècles ces matières poreuses, briques et chaux, comme celles qui se sont formées dans des conditions semblables à Plombières (*) et à Luxeuil (**).

Cette formation ne s'est pas produite uniformément dans toutes les parties du béton ; je ferai à ce sujet les remarques suivantes. Contrairement à ce qu'on pouvait attendre, on n'a pas vu de zéolithes dans le béton du puisard romain, formé, comme le précédent, de briques et de chaux, bien qu'il ait été immergé, depuis des siècles, par l'eau la plus chaude. Je n'en ai pas rencontré davantage dans le béton du sondage n° 11, appliqué autour et au-dessus du trou de sonde, afin d'éviter les fuites ; mais ce dernier béton ne renferme pas de briques ; d'ailleurs il n'a été établi qu'en 1864, et le temps a peut-être été trop court pour que des réactions lentes aient pu aboutir à une cristallisation. Dans quelques parties, au lieu de briques, le béton renferme des fragments de calcaire magnésien géodiques disséminés dans la chaux ; cette sorte de béton n'a pas fourni davantage de zéolithes, même dans les parties ou il était soumis à de l'eau très-chaude.

(*) *Annales des mines*, 5e série, t. XIII, p. 227, 1858.

(**) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XVIII, p. 108.

Le silicate d'alumine poreux qui constitue la brique paraîtrait donc favoriser la formation des zéolithes. Toutefois la brique sans chaux n'a pas non plus donné naissance à des zéolithes ; car des fragments de briques et de poteries trouvés dans le puisard, sur le point même d'émergence de la source, n'ont pas été transformés, comme il est arrivé à la même substance dans les parties où elle était empâtée dans la chaux.

5° Minéralisation ou fossilisation de débris organiques végétaux et animaux.

D'après ce qui vient d'être exposé sur les changements que les eaux thermales ont fait subir à diverses substances inorganiques, métaux et maçonneries, il n'y a pas à s'étonner qu'elles aient agi aussi sur des débris organiques qui y étaient plongés.

Bois de pilotis, imprégnés et remplacés partiellement par de la calcite. — Tels sont particulièrement des pilotis, rencontrés dans les fouilles de l'établissement civil à l'angle sud-ouest du puisard romain (*fig.* 8, Pl. XIII). Les pilotis servaient de fondation à un petit canal de 30 centimètres de largeur, construit en calcaire oolithique, qui amenait de l'eau douce venant du sud: ils étaient fichés, à 10 ou 15 centimètres de distance l'un de l'autre, dans une couche d'argile appartenant à l'étage supérieur du grès bigarré; leur partie supérieure était à 8 mètres au-dessous de la surface actuelle du sol.

Tout en ayant très-distinctement conservé leur texture, ces bois sont devenus durs et lourds, par suite de la matière minérale qu'ils ont absorbée. Cette matière, qui n'est autre que du carbonate de chaux, y est très-inégalement répartie, ainsi qu'on peut s'en convaincre à la première vue. A côté de faisceaux fibreux blanchâtres, à peine altérés

dans leur aspect, ressemblant à du bois desséché et faisant à peine effervescence; il en est qui sont tellement chargés de carbonate de chaux, que leur texture originelle est devenue méconnaissable, au moins à première vue. Dans l'échantillon que je possède, la partie voisine de l'écorce et l'écorce elle-même se distinguent du reste de la tige par l'absence du carbonate de chaux, comme on le constate facilement à l'aide d'un acide.

Des tranches minces de ce bois minéralisé ont été coupées suivant des directions transversales et radiales, puis examinées au microscope. L'action de ces plaques sur la lumière polarisée montre que la calcite dont elles se composent est, pour la plus grande partie, transparente et cristalline. Au milieu de la calcite lamellaire se dessine un réseau de parties généralement opaques, offrant de la manière la plus nette la configuration du tissu végétal : les cellules, les vaisseaux et les rayons médullaires y sont parfaitement reconnaissables.

D'ailleurs, soumis à l'action de l'acide chlorhydrique, ce débris végétal ne laisse qu'un faible résidu qui, dans le fragment que j'ai examiné, n'est que de 3,1 p. 100 du poids total, c'est-à-dire qu'il a absorbé près de 97 p. 100 de son poids de carbonate de chaux. Le résidu, d'une teinte pâle, conserve encore la texture ligneuse du végétal, au moins aussi bien que les parties du même bois qui ne sont pas minéralisées.

Ainsi la substance originelle du bois a, en partie, disparu pour faire place au carbonate de chaux, et la partie qui s'est conservée, sans passer à l'état de pourriture et sans perdre sa texture, s'est remplie du même sel jusque dans les moindres interstices de ses cellules, qui paraissent avoir été distendues par cette imprégnation.

M. Renault, attaché au muséum et connu par ses intéressantes recherches sur les végétaux fossiles, a bien voulu préparer diverses sections de ce bois fossile et en faire l'examen ; il y a reconnu l'essence du hêtre.

Quant à d'autres pilotis qui supportent les murs du puisard romain au milieu duquel jaillit la source thermale, à une température de plus de 67°, les parties qu'on en a détachées sont toutes différentes de celles dont il vient d'être question : au lieu d'être minéralisées, elles sont devenues noirâtres et ressemblent à certains lignites.

Ces circonstances, relatives à la fossilisation contemporaine de végétaux, paraissent mériter d'être signalées, quoiqu'on connaisse déjà divers exemples actuels d'imprégnation de bois par du carbonate de chaux, notamment celui rencontré dans un aqueduc romain, à Eilsen, par M. Cotta, et décrit par M. Stockes, et d'autres cas signalés par M. le professeur Gœppert.

Ces faits ne sont d'ailleurs que la continuation de ceux qu'on rencontre dans des couches des anciennes périodes, où la fossilisation des bois par le carbonate de chaux n'est pas rare, par exemple dans le lias de nombreuses localités et dans le calcaire jurassique de Solenhofen en Bavière (*).

Cornes de bœuf imprégnées d'une manière semblable. — Des cornes de bœuf ont été rencontrées dans les mêmes substructions de Bourbonne à une profondeur 4m,50 (près des vestiges d'un temple). Ces cornes, ou plutôt leurs axes osseux, ont été imprégnés aussi de carbonate de chaux, comme l'annonce d'ailleurs leur densité, qui est supérieure à celle des os ordinaires. En effet, quand on en examine au microscope une plaque mince, on voit que ce minéral a rempli partiellement les cavités et a formé, dans les plus grandes, des géodes tapissées de cristaux de calcite. Ces os renferment encore de la matière organique ; car ils noircissent au feu, mais sans exhaler aucune odeur annonçant qu'ils contiennent encore une matière azotée.

(*) Gœppert, *Genres des plantes fossiles*, 1844. — Schimper, *Paléontologie végétale*, p. 44.

Bois ferrugineux. — Comme exemple d'un mode de minéralisation produit dans le même milieu, mais sous l'action d'autres agents, je rappellerai le bois ferrugineux, imprégné d'oxyde de fer hydraté, qui a été mentionné plus haut, parmi les combinaisons formées aux dépens du fer. Par son aspect ce bois, que M. Renault a reconnu de l'essence des conifères, probablement du sapin, offre de la ressemblance avec certains végétaux ferrugineux appartenant à des terrains stratifiés plus ou moins anciens, particulièrement avec les débris de conifères que j'ai reconnus autrefois au milieu du minerai de fer pisolithique de l'Alsace (*). En outre, le bois est imprégné d'une substance transparente incolore, agissant fortement sur la lumière polarisée, qui peut être autre que la calcite.

Un bois bien plus chargé de limonite a été rencontré dans les substructions de Plombières, près d'une ferrure (**).

Tendance de la matière organique à fixer des combinaisons inorganiques. — La formation des zéolithes dans les boursouflures et dans les pores des briques des bétons romains, à Bourbonne-les-Bains comme à Plombières, montre comment les substances pierreuses peuvent agir dans certaines circonstances sur les dissolutions qui les traversent, pour former et fixer divers composés.

L'action analogue et non moins énergique des tissus organiques ressort des faits qui viennent d'être exposés.

En effet, aucune incrustation calcaire n'a été signalée à proximité des bois calcarifiés dont il vient d'être question. C'est bien la matière ligneuse qui, par une sorte de sélection, a attiré et concentré dans ses cellules le carbonate de chaux. Sur d'autres points elle a agi de même, en attirant l'oxyde de fer et d'autres combinaisons et en produisant

---

(*) *Comptes rendus*, t. XXI, p. 330, 1845.
(**) Voir le résultat de l'analyse à la fin de ce mémoire.

des bois ferrugineux. Le rôle de l'affinité capillaire, sur lequel M. Chevreul a si justement appelé l'attention par de profondes observations, ressort d'ailleurs aussi clairement du mode de minéralisation des débris organiques dans les couches stratifiées de tous les âges, par exemple, des bois silicifiés qui, très-fréquemment, ne sont avoisinés par aucun dépôt siliceux.

On vient de voir que dans le sous-sol de Bourbonne, comme dans les anciennes roches, la tendance à se minéraliser de la matière végétale est loin de se manifester uniformément, même quand on ne considère que des points très-voisins, comme divers pilotis contigus ou les différentes parties d'une même pièce de bois. Comme autre exemple de contraste, j'ajouterai qu'à Plombières et à Bourbonne, la chaux du béton romain où se sont formées les zéolithes renferme de menus fragments de bois. Ces débris végétaux sont fréquemment enveloppés de cristaux du silicate hydraté, appartenant à l'espèce chabasie, qui se sont fixés à leur surface avec une préférence marquée. Cependant ces mêmes bois, d'une teinte blanchâtre, ne sont pas notablement imprégnés de matières minérales.

6° Dépôts de substances diverses sous forme de boue.

Il s'est développé en abondance dans les galeries romaines une substance boueuse de nature complexe, ressemblant pour l'aspect à celle que l'on a autrefois retirée du fond du puisard romain, mais d'une teinte moins foncée.

Cette boue ne se dessèche qu'avec beaucoup de lenteur. Une fois sèche, elle présente des teintes variées, blanches, jaunes et brunes ; ces colorations sont disposées çà et là, suivant des zones concentriques, dont la disposition ressemble à celle si connue dans les agates ; elles annoncent que ce dépôt est le produit d'une concrétion.

D'après l'analyse qui en a été faite au bureau d'essais

de l'École des mines, un échantillon de cette substance avait la composition suivante :

Silice	26,00
Alumine	8,50
Peroxyde de fer	18,66
Oxyde rouge de manganèse	11,33
Chaux	5,33
Magnésie	1,20
Alcalis	0,86
Oxyde de cuivre	0,55
Acide sulfurique	0,36
Acide chlorhydrique	1,40
Arsenic	0,20
Perte par calcination (eau, acide carbonique)	25,00
Antimoine	absence.
Iode et brome	absence.
	99,39

Outre les oxydes hydratés de fer et de manganèse, ce dépôt renferme un silicate d'alumine faisant gelée avec les acides qui, d'ailleurs, est peut-être mélangé de silice hydratée.

On constate donc ici la formation par voie chimique, dans une eau thermale, d'un silicate alumineux, comparable à l'halloysite. Il est probablement analogue à celui connu sous le nom de *savon de Plombières*, qui a été recueilli dans les fissures par lesquelles surgissent les sources thermales de cette localité (*), ainsi qu'aux halloysites, fréquemment associés aux gîtes métallifères : c'est, en tous cas, un mode de formation dont il convient de tenir compte dans l'histoire de l'origine des argiles.

Bien qu'il y ait une quantité notable d'arsenic dans cette boue, on y a constaté l'absence de l'antimoine. Quant à la présence du cuivre, dont la proportion est de 0,55 p. 100,

(*) *Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. XVI, p. 567 1859.

rien n'autorise, quant à présent, à supposer qu'il a été apporté par la source thermale elle-même, puisque du bronze se trouve assez abondamment dans le voisinage et que ce bronze a été partiellement attaqué.

La boue du puisard romain avait déjà été l'objet d'analyses de Vauquelin, puis de M. Bompard, pharmacien à Bourbonne, qui l'a exécuté sous la direction de M. Millon (*). Cette dernière indique 17 p. 100 de matières organiques, azotées et non azotées, et de 0,26 p. 100 d'iode. Si l'on compare ce résultat à celui qui a été signalé plus haut, on voit que ces boues, de compositions très-complexes, sont loin d'être homogènes, quoiqu'elles aient été recueillies sur des points distants seulement de quelques mètres.

Dépôts analogues d'autres localités. — Le précipité boueux de Bourbonne offre aussi beaucoup de ressemblance avec celui de Bourbon-l'Archambault, qui a été analysé par M. de Gouvenain et qui, traité par l'acide chlorhydrique, produit aussi de la silice gélatineuse (**).

Silicate d'alumine hydraté de Saint-Honoré. — J'ajouterai qu'en faisant des fouilles, il y a quelques années, dans les thermes romains de Saint-Honoré (Nièvre), on a rencontré une substance blanche, happant à la langue, dont la composition a été trouvée au bureau d'essais de l'École des mines être la suivante :

Silice	76,60
Alumine	12,60
Peroxyde de fer	2,30
Chaux	1,80
Magnésie	traces.
Eau	6,30
	99,60

(*) Ces analyses sont rapportées dans le travail de M. le D[r] Bougard sur les *eaux chlorurées sodiques* de Bourbonne-les-Bains, *Journal d'hydrologie médicale*, t. XVII, 1872.

(**) *Annales des mines*, 7[e] série, t. III, p. 59.

On a constaté l'absence de l'acide carbonique, de chlorures et de sulfates.

Quoiqu'il m'ait été impossible, jusqu'à présent, d'obtenir des renseignements précis sur les circonstances dans lesquelles cette substance argileuse a été rencontrée et, par conséquent, d'affirmer qu'elle est également un dépôt contemporain de l'eau thermale, je crois devoir la signaler ici.

7° Érosions remarquables produites dans le fond du puisard sur des pierres de taille en calcaire.

Après avoir examiné les dépôts formés par l'eau thermale, il convient de mentionner des érosions remarquables qu'elles ont fait subir à de la pierre de taille, dans les murs du puisard romain. Cette pierre de taille consiste en calcaire de l'étage de la grande oolithe et paraît provenir des carrières de Chalvraines (Haute-Marne), qui sont situées à 30 kilomètres de distance (*).

Quoique cette pierre ait été choisie, comme en général celles que les Romains ont employées, dans la qualité la plus résistante, elle a subi des érosions profondes et si irrégulières qu'il est difficile de les décrire ou de les représenter par un dessin. Toutefois, la *fig.* 9, Pl. XIII, en donne une idée, que l'on peut compléter à l'aide de petits échantillons que j'ai rapportés et déposés dans la collection de l'École des mines.

Ce que l'on remarque de général au milieu de ces formes déchiquetées, c'est qu'elles sont évidemment dues à des perforations qui ont été produites *de bas en haut*. Les joints de ces grandes pierres de taille étaient soigneusement établis ; cependant l'eau minérale en a profité avec subtilité pour se frayer graduellement un chemin entre les blocs.

(*) Peut-être aussi de Roche-sur-Vannon, commune de Dampierre-sur-Salon (Haute-Saône).

Elle a particulièrement travaillé et agi le long des joints verticaux et a fini ainsi par creuser, à proximité de ces joints, des espèces de cheminées, se rétrécissant dans leur partie supérieure, dont la hauteur atteint parfois 60 centimètres, épaisseur de la pierre de taille (*).

Le béton du fond du même puisard a été lui-même profondément rongé.

Il est à remarquer que des colonnes antiques du même calcaire, plongées dans la même eau et à quelque distance du puisard, ne présentent aucune cavité du même genre.

L'eau de Bourbonne est chargée de sels neutres ; l'acide carbonique, qui y a été observé par quelques observateurs, mais non par tous, y est très-peu abondant. Son action chimique paraît donc avoir été très-favorisée par le mouvement d'ascension rapide dont elle était animée, au voisinage de son principal orifice d'émergence (**).

Par l'ensemble et par les particularités de leurs formes, les érosions dont il vient d'être question ressemblent à celles qui se sont autrefois formées de toutes parts dans les calcaires de tous les âges, souvent sous forme de puits. Beaucoup de gîtes métallifères, de calamine, de minerais de fer et autres, lorsqu'ils sont enclavés dans des calcaires, présentent des anfractuosités du même genre ; on peut aussi en rapprocher les épanouissements que présentent les filons métalliques dans les parois calcaires. Bien des puits et d'autres anfractuosités ont certainement été creusées de haut en bas ; mais nous trouvons ici un exemple contemporain de perforations naturelles et parfaitement caractérisées qui ont été opérées en sens inverse, c'est-à-dire de bas en haut.

(*) Telles sont celles qui sont déposées dans le jardin de l'établissement.

(**) Au-dessus du trop-plein du puisard romain, on remarquait peu d'érosions, de même qu'à 3 mètres au-dessous de ce trop-plein, tandis qu'elles étaient très-prononcées dans l'espace intermédiaire.

8° Nature des sables à travers lesquels jaillit la source principale.

Ainsi qu'on l'a dit plus haut, le sondage exécuté dans l'établissement civil a rencontré une sorte de colonne de sable qu'il a traversée, jusqu'à 32 mètres, soit sur 22 mètres de profondeur. Puis après avoir traversé des argiles rouges de l'étage du grès bigarré, il est entré dans le grès bigarré lui-même.

Nature de ce sable. — Ce sable est essentiellement quartzeux : examiné à une forte loupe ou au microscope, il se montre formé en grande partie de grains de quartz cristallins ou cristallisés. On y rencontre aussi de petits fragments arrondis de quartz appartenant à diverses variétés, hyalin, grenu et saccharoïde : les uns sont incolores, les autres roses ou rouges et traversés par des veinules de jaspe ; quelques-uns renferment des cristaux de quartz en géodes, d'autres à leur surface, sous forme de druses.

Ce sable est associé à de nombreux fragments anguleux de grès bigarré blanchâtre; quelques-uns de ces fragments de grès présentent des empreintes de cristaux cuboïdes, tels que ceux qui ont été mentionnés plus haut, comme associés aux médailles; de la pyrite s'est déposée sur quelques-uns des fragments de grès et de quartz.

En lavant le sable pour y chercher les parties plus denses qui peuvent s'y trouver, on arrive à un résidu peu abondant, où l'on distingue facilement, à l'aide du microscope, des grains de pyrite, comme on l'a dit précédemment, ainsi que d'autres grains noirs et attirables consistant en fer oxydulé magnétique. Parmi les grains incolores, il en est qui n'ont pas la forme du quartz, mais celle de prismes carrés, terminés par des pyramides carrées reposant sur les arêtes du prisme; ils paraissent avoir la forme du zircon.

M. Terreil, aide de chimie au Muséum, a bien voulu examiner chimiquement ces sables ; il a reconnu qu'ils sont en totalité attaqués par le fluorhydrate d'ammoniaque.

Matières grasses. — Parmi les substances rencontrées dans ces sables, se trouve aussi une substance blanche, grasse au toucher, de nature organique, qui est en ce moment l'objet d'un examen spécial de M. Chevreul.

Une matière grasse semblable avait d'ailleurs été rencontrée dans les échancrures des pierres de taille de calcaire oolithique, dont les parois du puisard romain sont construites ; elle y formait quelques petites stalactites.

Comparaison de ce sable avec ceux du voisinage. — Le sable de la colonne d'ascension de la source, dont il s'agit, diffère des sables que l'on rencontre à la surface du sol, aux environs de Bourbonne, par exemple dans la rivière la Borne, et qui provient en partie de la désagrégation du grès liasique.

Ce sable ressemble beaucoup plus à celui qui constitue le grès bigarré, roche dans laquelle beaucoup de grains sont éminemment cristallins et même cristallisés, comme on en rencontre fréquemment dans le grès des Vosges (*).

Quant aux diverses variétés de quartz hyalin, qui sont représentées dans ce même sable par des fragments, plusieurs étages du trias, et par exemple le muschelkalk, près de la partie où ses couches s'appuient sur le granite, à Bussières-les-Belmont, présentent, en place, des rognons quartzeux de même nature. On en trouve aussi de semblables dans les terrains de transport du voisinage (**).

(*) *Recherches expérimentales sur la formation des galets, du sable et du limon. Annales des mines*, 5e série, t. XII. p. 551, 1857.

(**) Notamment dans les matériaux qui servent d'entretien au vieux chemin de Coiffy.

Origine de ces sables. — Si l'on se demande quelle est l'origine du sable meuble, disposé en colonne, à travers lequel jaillit la source thermale, la première idée qui se présente à l'esprit est qu'il a été apporté par le haut dans le puisard, aussi bien que les médailles et les noisettes qui leur sont associées vers sa partie supérieure.

Ce qui montre encore que des substances rencontrées aussi profondément ont pu arriver d'en haut, c'est qu'à la source n° 2, où les Romains ont fait un puits de 12 mètres, on a rencontré au fond de ce puits, dans un tuyau de plomb, de petits crustacés d'eau douce. Ces crustacés sont, d'après M. Édouard Perrier, du groupe des entomostracés qui habitent les eaux stagnantes et sont voisins des *cypris faba ;* ces débris sont agglutinés par de la chaux carbonatée.

Cependant, on n'est pas en droit de conclure qu'il en est ainsi, tant qu'on n'aura pas trouvé, dans les environs, à la surface du sol, de sable semblable à celui qui nous occupe. D'un autre côté, la source possède une force ascensionnelle qui se trahit par la manière dont elle a entraîné le béton du fond du puisard ; en déposant l'argile ou halloysite, elle a pu apporter d'autres débris pierreux, tels que les sables des couches inférieures, qu'elle traverse avant d'arriver au jour.

Observations. — Plusieurs des faits qui ont été exposés dans ce mémoire montrent combien est grande la tendance des sulfures métalliques à se former, même dans des eaux qui ne renferment pas ce genre de combinaison à l'état normal, et par la réduction des sulfates qu'elles tiennent en dissolution. Une tendance si caractérisée explique comment les minéraux les plus nombreux des filons appartiennent à cette catégorie de combinaisons.

Le nombre des espèces cristallisées ou bien définies, qui se sont formées dans le fond du puisard romain, n'est pas moindre de vingt-quatre, sans compter celles qui, étant

restées à l'état amorphe, sont indéterminées. Toutes ces espèces ont pris naissance les unes à côté des autres, dans un espace très-restreint, d'une capacité de quelques mètres cubes.

L'action des eaux thermales est en effet loin d'être uniforme; elle varie non-seulement suivant leur nature propre, mais aussi suivant celle des matériaux qu'elles rencontrent dans leur trajet, et qu'elles peuvent mettre en œuvre, conjointement avec les substances qu'elles tiennent en dissolution. C'est ainsi que dans le tissu des bétons, où elles ont engendré des zéolithes, elles ont agi tout autrement que sur les substances métalliques.

Ces combinaisons ainsi accumulées et groupées rappellent, non-seulement par leur nature, mais par les caractères de leurs associations, la richesse d'espèces nettement cristallisées que l'on observe dans les gîtes métallifères. Ceux du Banat, par exemple, présentent également la juxtaposition immédiate d'espèces aussi différentes que les sulfures métalliques, d'une part, et, d'autre part, les silicates hydratés de la famille des zéolithes.

Lorsqu'on cherche à introduire la méthode expérimentale dans la reproduction et l'étude des phénomènes géologiques, on rencontre, entre autres difficultés, la brièveté de l'existence de l'homme, si courte en comparaison des longs laps de temps qui ont été mis à contribution dans la formation de l'écorce terrestre. Heureusement des faits tels que ceux dont il s'agit viennent suppléer à cette impuissance; car ils présentent de véritables expériences de démonstration, instituées pendant vingt fois la durée de la vie humaine.

Grâce à l'étendue de cette période, nous surprenons, en quelque sorte en flagrant délit, une eau minérale ne contenant que des sels neutres, et des plus répandus, qui a produit par une voie indirecte des espèces minérales nombreuses, offrant, tant en elles-mêmes que dans leur mode d'associa-

tion, une identité frappante avec celles de la nature. Ces résultats apportent une nouvelle preuve de l'intervention des sources minérales dans le remplissage des filons métallifères appartenant à la plus nombreuse catégorie, ainsi que dans d'autres dépôts des anciennes périodes.

Dans l'exemple de la transformation du bronze que nous avons sous les yeux, il semble que la nature, revendiquant ses droits sur ce que l'industrie humaine avait enlevé à son domaine, se soit plu, par l'intermédiaire de l'eau minérale, à reprendre son bien et à reconstituer exactement tous les minerais de cuivre que l'exploitation du mineur lui avait ravis, et qu'ensuite le fourneau du métallurgiste avait décomposés pour en tirer les deux métaux constitutifs du bronze.

A Bourbonne comme à Plombières, c'est très-près de la surface, à moins de 8 mètres, que se sont produites des élaborations aussi instructives et aussi différentes de ce que nous sommes habitués à voir dans nos laboratoires. Il leur a suffi pour cela d'une température bien peu élevée, comparativement à celle qui règne plus profondément. D'ailleurs les fortes pressions, dont des expériences spéciales ont fait reconnaître la puissance, notamment dans la décomposition et la reconstitution des silicates, sont à peine intervenues dans ces deux exemples. De quelles actions ne serions-nous pas témoins s'il nous était possible de descendre plus avant dans les fêlures des roches qui servent de canaux d'ascension aux sources thermales! Quoique des obstacles s'opposent à la réalisation de ce vœu, nous constatons chaque jour plus clairement combien doit être important le rôle de l'eau, qui imbibe ou traverse les roches, dans toutes les parties de la croûte du globe, et surtout dans les régions où la chaleur terrestre, en atteignant un degré élevé, lui fait acquérir des propriétés de minéralisation particulièrement énergiques.

Des échantillons dont il est question dans ce mémoi analysés au bureau d'essais de l'École des mines, ont donné les résultats ci-après indiqués.

Échantillon de plomb partiellement oxydé. (Voir page 450.)

PARTIE MÉTALLIQUE.		PARTIE OXYDÉE.	
Étain	10,40	Oxyde d'étain	2,00
Plomb	85,00	Oxyde de plomb	54,00
Fer	2,05	Acide carbonique	4,00
Cuivre	0,60	Acide sulfurique	10,00
Antimoine	absence	Argile empâtée	25,00
		Chaux	traces
		Oxyde de fer	2,30
		Antimoine	absence
	98,05		98,90

Bois ferrugineux de Bourbonne-les-Bains et de Plombières. (Voir pages 463 et 473).

	BOIS ferrugineux de la source de Bourbonne-les-Bains.	ROUILLE de Bourbonne-les-Bains.	BOIS ferrugineux recueilli dans l'eau thermale de Plombières.
Acide carbonique	1,80	—	traces
Acide chlorhydrique	traces	0,30	traces
Acide sulfurique	traces	0,07	2,40
Silice	3,00	3,50	4,00
Fer métallique (par barreau aimanté)	—	14,00	—
Peroxyde de fer	10,00	66,00	57,30
Protoxyde de fer	2,00	—	—
Chaux	3,60	1,20	4,80
Magnésie	0,60	0,30	2,60
Eau et bois	79,60	14,30	28,50
	100,00	99,67	100,00

ANALYSE INDUSTRIELLE DES GAZ

Par M. ORSAT,

Ancien élève de l'École polytechnique et de l'École des mines.

Malgré l'incontestable utilité de l'analyse des mélanges gazeux, on peut dire que jusqu'ici cet élément d'observation si utile et si précis n'a fourni que fort peu d'indications pratiques aux divers appareils métallurgiques existants. C'est ainsi, par exemple, que si à la suite des analyses longues, délicates et précises des ingénieurs de divers pays, on a pu édifier et même affirmer la théorie des fours à cuve, des fours à réverbère, des gazogènes, etc., il n'en est pas moins vrai que la théorie reste le plus souvent en dehors des faits industriels. Tout en sachant fort bien qu'un gaz combustible ne doit pas contenir de proportion élevée d'acide carbonique, l'ingénieur, l'industriel n'ont souvent aucun moyen de contrôler le fait, j'entends de moyen simple, rapide, peu dispendieux et qu'un ouvrier intelligent puisse appliquer. De même encore, tout en reconnaissant que les produits de la combustion ne doivent plus renfermer de gaz combustibles, il n'est que trop fréquent de voir une importante quantité de gaz oxyde de carbone échapper à la combustion par un refroidissement trop prompt sans qu'aucun indice puisse permettre de s'en apercevoir.

Une analyse incomplète même et approchée ferait reconnaître ce défaut dans l'allure et par suite permettrait d'y porter remède. D'ailleurs toutes les réactions chimiques métallurgiques s'accomplissent au sein des gaz et presque

toujours par leur intermédiaire; sans méconnaître en effet les réactions réciproques que divers éléments en fusion peuvent produire les uns sur les autres, il n'en est pas moins vrai que l'atmosphère au sein de laquelle s'opère cette réaction joue un rôle prépondérant à tel point qu'une réduction peut se changer en oxydation et les réactions inverses s'accomplir suivant l'état de cette atmosphère. Aujourd'hui surtout que le rôle des gaz semble vouloir s'étendre à juste titre, que les combustibles gazeux dont la régularité d'emploi est incontestable et qui se manient avec une bien autre facilité que les combustibles solides, paraissent vouloir peu à peu se substituer à ces derniers, dans la métallurgie du fer principalement, il semble que l'analyse, le contrôle de ces agents devrait faire l'objet d'une étude attentive, et pourtant il n'en est rien. Dernièrement encore, M. Gruner, avec l'autorité qui s'attache à son nom, montrait ici même par une rigoureuse balance de tous les éléments solides, liquides et gazeux qui entrent dans un haut fourneau et qui en sortent que sa marche économique était intimement liée au rapport $\frac{CO^2}{CO}$ des gaz qu'il produit. Il y a donc un intérêt économique de premier ordre à déterminer ces quantités et leur rapport. De même aussi, la composition des gaz se modifie suivant qu'un fourneau marche en fonte grise ou en fonte blanche, et l'indice que les laitiers peuvent fournir à cet égard n'apparaît souvent qu'après une modification de l'allure assez longue pour compromettre plusieurs coulées. Or, jusqu'ici, les analyses de gaz de hauts fourneaux ou de grilles à combustion se citent presque comme des raretés.

On parle bien des essais d'Ebelmen, des analyses de MM. Lowthian Bell, Regnault, Scheurer-Kestner et Meunier et quelques autres; mais alors que l'analyse des gaz des foyers métallurgiques devrait être presque aussi répandue que celle des minerais ou des types de classification

des fers, il n'existe aucune usine où ce service soit couramment organisé.

Plusieurs causes concourent à cet état de choses : la lenteur des opérations analytiques, leur difficulté, la nécessité d'avoir un laboratoire presque complétement disposé à cet effet avec tout son attirail de cuves à eau, de cuves à mercure, thermomètres, baromètres, cathétomètres, eudiomètres, hygromètres, ou au moins de tubes absorbant l'humidité avec l'intervention obligatoire des balances. Tout cela éloigne à bon droit la pratique de cette importante étude. Il est certain toutefois que les beaux travaux classiques de MM. Bunsen, Regnault, Doyère ont aplani bien des difficultés et doté même les cabinets de chimie d'instruments perfectionnés qui simplifient beaucoup les analyses. Mais il n'est encore pas possible de les utiliser dans les usines.

Pourtant le nombre des gaz qui jouent un rôle important dans l'industrie n'est pas considérable. A côté de l'azote, qui se trouve partout, on rencontre l'oxygène, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, puis l'hydrogène et les hydrocarbures ; dans quelques cas particuliers, on peut encore avoir l'acide sulfureux, l'hydrogène sulfuré, mais c'est un peu exceptionnel. La variété des hydrocarbures ne multiplie pas en général les réactions, car ils se comportent tous d'une façon à peu près identique, et pour l'industriel, pour l'ingénieur même, ces gaz n'ont nullement besoin, la plupart du temps, d'être déterminés dans leurs nombreuses variétés. Il suffit de connaître leur volume total et les produits de leur combustion. Enfin, parmi les éléments gazeux qui se rencontrent encore à chaque pas, il est juste de signaler aussi la vapeur d'eau dont le dosage exact est si délicat et qui joue souvent un rôle très-important. Tels sont les éléments principaux, et l'on peut dire que dans le plus grand nombre de cas, la détermination de l'azote, de l'oxygène, de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone,

des hydrogènes plus ou moins carbonés et de la vapeur d'eau suffit parfaitement à apprécier l'effet d'une atmosphère.

Il est à remarquer aussi qu'il n'est pas nécessaire pour régler convenablement un appareil d'obtenir une précision extrême dans la détermination des éléments gazeux. Il suffit le plus souvent que les essais soient comparables; car la prise moyenne d'un gaz est par elle-même d'une assez grande difficulté pour qu'il soit inutile de pousser trop loin la précision des résultats. Il semble bien préférable de multiplier les essais que d'appliquer une analyse minutieuse à un trop petit nombre d'échantillons. Les filets gazeux, qui forment un courant dans un appareil quelconque (four à cuve ou four à réverbère), peuvent parfaitement, en effet, changer de composition non-seulement à des distances variables normalement à la paroi du four, mais aussi parallèlement à cette paroi dans le sens du mouvement gazeux, car il est évident *à priori* que le gaz se modifie constamment depuis son origine à la production de la flamme, jusqu'à sa sortie, son évacuation à l'air.

L'appareil dont la description va suivre est destiné à donner satisfaction à une partie de ces besoins. Il est fondé sur les propriétés absorbantes de la potasse pour l'acide carbonique, de l'acide pyrogallique en présence de la potasse pour l'oxygène et enfin du chlorure de cuivre pour l'oxyde de carbone. L'hydrogène et les hydrocarbures ont été négligés ainsi que la vapeur d'eau. Les procédés d'absorption ne sont pas en effet applicables aux hydrogènes plus ou moins carbonés, et leur dosage approximatif ne saurait être obtenu par des procédés aussi simples que ceux d'absorption. L'hydrogène, d'ailleurs, et les hydrocarbures brûlent toujours plus rapidement que l'oxyde de carbone et dans un mélange qui ne renferme plus d'oxyde de carbone, tout l'hydrogène a été lui-même préalablement

brûlé, converti en eau. On peut donc en général, par la présence ou l'absence de l'oxyde de carbone, séparer les gaz en deux classes : ceux qui peuvent renfermer de l'hydrogène libre ou combiné et ceux qui n'en renferment pas. J'indiquerai toutefois à la fin de cette note par quel moyen on peut compléter, en ce qui regarde les hydrocarbures, l'évaluation rapide et simple que permet l'appareil dont je vais donner la description. Quant à la vapeur d'eau, sans méconnaître son extrême importance, puisque ses éléments agissent le plus souvent comme s'ils étaient dissociés et qu'elle joue un rôle oxydant très-énergique, on a dû renoncer à son dosage même approximatif; en effet, la vapeur d'eau se condensant au-dessous de 100°, il faudrait pour la doser opérer au-dessus de cette température afin d'éviter les condensations, ce qui n'est pas possible. Une remarque importante doit être faite au sujet du choix des absorbants des gaz. Il importe que le gaz absorbé contracte une véritable combinaison avec les liquides; s'il en était autrement en effet et si les liquides agissaient par simple dissolution, le gaz absorbé tendrait constamment à s'échapper de sa dissolution suivant l'état de tension du gaz absorbable dans l'atmosphère qui surmonte le liquide. La potasse se combine réellement avec l'acide carbonique, l'acide pyrogallique avec l'oxygène et le chlorure de cuivre avec l'oxyde de carbone, cette dernière combinaison notamment pouvant s'obtenir sous forme cristallisée.

L'appareil se compose d'un tube mesureur divisé AB (*fig.* 10, Pl. XIII), entouré d'un manchon d'eau froide : ce mesureur communique par le bas au moyen d'un tube de caoutchouc avec un flacon à tubulure inférieure D, rempli à moitié d'eau et ouvert à l'air libre. L'ensemble forme donc deux vases communiquants, et en élevant ou abaissant à la main le flacon D, on lui fait jouer le rôle d'aspirateur ou de souffleur. En ayant la précaution de tenir le niveau de l'eau dans le vase D sur le même plan horizontal que le

niveau de l'eau du mesureur, le gaz renfermé dans ce mesureur est toujours à la pression atmosphérique; le manchon plein d'eau garantit la constance de sa température. Le sommet du mesureur communique avec une rampe formée d'un tube de verre capillaire qui possède trois ou quatre tubulures fermées par des robinets de verre. Le robinet C, situé à l'extrémité de cette rampe, sert à l'admission du gaz, le robinet I à l'expulsion. Les robinets G, G′, G″, établissent la communication avec des tubes en U dans lesquels se fait l'absorption des gaz. Ces tubes en U sont disposés ainsi qu'il suit : leur intérieur, du côté des robinets G, G′, G″, est rempli de tubes de verre ouverts aux deux bouts qui augmentent de beaucoup les surfaces d'absorption lorsque le gaz y est introduit. Le liquide chassé de cette première branche du tube en U pénètre dans la seconde et cette autre branche du tube en U débouchant dans l'air permet à l'équilibre de pression de se produire au-dessus du liquide dans la seconde branche du tube en U. Si le liquide est très-altérable comme le pyrogallate de potasse, le tube. au lieu de déboucher à l'air, est terminé par un ballon en caoutchouc flasque qui renferme un peu d'air. Cet air se dépouille bien vite de son oxygène, de telle sorte que la manœuvre s'opère dans l'azote.

Le premier tube renferme de la potasse. le second du pyrogallate de potasse; le troisième est disposé ainsi qu'il suit : dans son intérieur se trouve une toile de cuivre rouge enroulée sur elle-même qui joue le rôle physique des tubes de verre et le liquide est un mélange de chlorhydrate d'ammoniaque saturé à froid et d'ammoniaque. Ce liquide en présence du cuivre absorbe très-facilement l'oxygène de l'air et peut servir aussi au dosage de ce gaz. Dès que du chlorure de cuivre s'est formé, on voit la liqueur prendre une belle teinte bleue. Si, une fois le sel de cuivre formé, on l'applique à l'absorption de l'oxyde de carbone, la liqueur verdit et au bout de quelque temps devient très-

paresseuse ; il faut alors reformer du sel de cuivre par l'intervention de l'oxygène atmosphérique et l'absorption du gaz oxyde de carbone s'opère de nouveau rapidement.

Dans bien des cas, on n'a besoin que de doser l'acide carbonique et l'oxygène ou l'acide carbonique et l'oxyde de carbone. Dans ce cas il suffit de mettre le premier et le troisième tube en U.

Enfin l'appareil possède encore, à la suite du robinet C, un tube plus large rempli de coton cardé pour arrêter les fumées qui se rencontrent souvent dans les gaz analysés, et de plus afin de permettre de purger la conduite qui amène les gaz à l'appareil, ce tube à fumée communique au moyen d'un robinet R avec une petite trompe KLM qui permet l'aspiration des gaz pendant que l'on fait une analyse. Cette trompe se compose d'un tube de verre étiré de façon à former deux cônes d'angle inégal accolés par le sommet ; au point de jonction des cônes, il y a aspiration lorsqu'on fait traverser le tube KLM par un courant d'eau, et cela suffit à purger la conduite. Cette conduite, elle-même, se compose, dans l'intérieur du fourneau, d'un tube de fer ou de porcelaine qu'on enfonce plus ou moins dans la paroi du fourneau, ou encore pour une analyse moyenne, d'un tube muni dans toute sa longueur d'une fente mince d'environ un demi-millimètre. Au delà du tube de fer on met un réfrigérant, si on le juge utile, pour éviter de brûler le caoutchouc. Tout l'appareil est monté dans une boîte facilement transportable et qui s'ouvre sur ses deux grandes faces.

On donne aussi quelquefois à l'appareil une forme un peu différente, en remplaçant les tubes en U par des cloches tubulées qui plongent dans une large éprouvette pleine du liquide absorbant. Une broche en caoutchouc maintient le système, et comme le liquide est beaucoup plus abondant, il est nécessaire de le renouveler moins fréquemment, cet appareil étant aussi construit dans des dimensions un peu plus grandes permet plus d'exactitude dans les lectures,

mais il est un peu moins facilement transportable que celui ci-dessus décrit.

Cela posé, voici comment fonctionne l'appareil. On purge la conduite, soit en utilisant la trompe, soit en aspirant le gaz au moyen de l'aspirateur D et le rejetant ensuite dans l'air par le robinet I. Lorsque le tube est suffisamment purgé, on aspire dans le mesureur un peu plus de 100 divisions (le zéro du mesureur se trouve en A sur le tube capillaire), puis on ferme le robinet C, on pose alors le vase D sur son support et l'on ouvre lentement le robinet I. L'équilibre de pression s'établit rapidement, et comme au préalable on a eu soin de remplir le vase D d'une quantité d'eau telle qu'étant placé sur son support, le niveau correspondant du mesureur affleure exactement au trait 100, on a ainsi mesuré 100 divisions à la pression et à la température ambiantes. (Il est prudent de prendre ainsi primitivement quelques divisions de plus afin d'éviter l'influence des dépressions produites dans certains fours). Fermant le robinet I, on ouvre alors le robinet G et l'on élève le flacon D, le gaz passe dans le premier tube. On évite que le liquide monte jusque dans les tubes capillaires en tenant le caoutchouc O de la main gauche; en pressant ce tube on règle de la manière la plus simple l'ascension et la descente des liquides. De la cloche, on fait repasser le gaz dans le mesureur en abaissant l'aspirateur et l'on répète deux ou trois fois la même manœuvre. On ramène alors le liquide du tube en U au repère marqué sur sa tige qui forme le zéro, on ferme le robinet G, puis on mesure le gaz restant en ayant la précaution de lever avec la main le flacon D de façon que les niveaux du liquide dans le mesureur et dans l'aspirateur soient sur un même plan horizontal. On passe ensuite au second tube et au troisième, si l'appareil est à trois tubes, en notant chaque fois les diminutions de volume. La manœuvre se fait absolument de la même façon pour les autres tubes que pour le premier.

Les trois liquides absorbants employés sont tous très-alcalins, de plus le chlorhydrate ammoniacal a une tension de gaz ammoniac qu'il est bon de neutraliser ; à cet effet on doit aciduler l'eau du flacon D. Si quelquefois par accident le liquide alcalin s'introduisait dans les tubes capillaires, le lavage de ces tubes avec le liquide acide D est le meilleur moyen de les nettoyer, ce qui est indispensable, car la prise d'essai serait faussée. Les espaces capillaires sont négligés dans la mesure des volumes, cela n'a que peu d'importance et n'affecte pas la comparaison de divers résultats successifs, car la section du tube mesureur est d'environ 2 à 300 fois plus forte que celle du tube capillaire.

La quantité de vapeur d'eau que peut renfermer le gaz s'est condensée dans le trajet du four à l'appareil et pendant le refroidissement, de sorte que les gaz sur lesquels on opère sont toujours saturés de vapeur d'eau; cette condition n'altère pas les proportions relatives des éléments non condensables et l'analyse s'exécute avec assez de rapidité pour que la solubilité de ces mêmes gaz dans le liquide de l'aspirateur puisse être négligée. Toutes les conditions d'ailleurs de température et de pression, d'état hygrométrique étant sensiblement les mêmes, les résultats deviennent immédiatement comparables sans avoir à leur faire subir de corrections.

On voit donc que cet appareil donne par une manœuvre simple et rapide les gaz absorbables par la potasse, le pyrogallate et le chlorhydrate d'ammoniaque ammoniacal en présence du cuivre. Le premier tube dose l'acide carbonique, le second l'oxygène, le troisième l'oxygène et l'oxyde de carbone. Si le gaz renferme des hydrocarbures, on peut admettre qu'ils restent avec l'azote.

Pour un haut fourneau, deux tubes suffisent, la potasse et le cuivre. Pour les autres combustions, il est préférable d'avoir un appareil à trois tubes.

Le même principe peut s'appliquer au dosage de l'acide

sulfureux, de l'hydrogène sulfuré. On peut, si l'on redoute la solubilité des gaz, remplacer l'eau du tube mesureur par de la glycérine et, suivant ce que l'on cherche, substituer aux liquides absorbants d'autres solutions, comme par exemple le bichromate de potasse dissous dans l'acide sulfurique ou le permanganate de potasse, si l'on voulait doser l'acide sulfureux en présence de l'acide carbonique.

Cet appareil fonctionne déjà depuis un certain temps dans un nombre assez étendu d'usines métallurgiques qui l'ont appliqué à des besoins divers.

C'est ainsi qu'on l'a employé à l'étude des combustions sur tous genres de foyers : grilles simples, gazogènes, gaz combustibles des hauts fourneaux, locomotives, puis aux appareils métallurgiques eux-mêmes : hauts fourneaux, fours à réverbère, fours à acier Siemens-Martin, etc. A côté de cela, on l'emploie aussi pour les gaz des chambres de plomb, les générateurs d'acide carbonique de tout genre, soit par calcination de pierre à chaux, soit par fermentation, analyse des gaz respirables et de tous les airs plus ou moins confinés, etc.

Voici quelques exemples qui permettront d'en apprécier l'application. Ils sont choisis parmi un grand nombre d'autres analogues.

Un appareil Siemens-Martin est mis en feu aux forges d'Allevard (Isère). L'analyse des gaz du gazogène fournit les renseignements suivants (houille de Montrambert) :

CO^2.	6	6	7	7
O.	0	0	0	0
CO.	20,5	18,5	19	19

sur 100 volumes.

Pour éviter de brûler le four, on règle d'abord les gaz à la combustion de façon à perdre un peu de gaz combustibles, puis ensuite à les brûler avec le moins d'air possible. Voici une série d'analyses obtenues par l'appareil qui

a permis de régler ainsi au degré rigoureux les valves d'admission de l'air :

Gaz brûlés.

CO^2......	14	13	13	14	17	16	18	17
O.......	0	0	0	0	0	0	0	0
CO......	4	6	7	3,5	0	0	0	0

sur 100 volumes; on est donc arrivé à une combustion très-satisfaisante.

L'usine de Montmorillon (Vienne) nous offre un autre exemple plus frappant encore d'analyse des gaz combustibles du haut fourneau, employés au chauffage de l'air. Les premières analyses, faites après combustion, ont montré immédiatement une proportion très-notable d'oxyde de carbone. On diminue d'abord les accès d'air et finalement on change la forme des brûleurs, la composition des gaz revient rapidement à la suivante :

CO.....................	0
CO^2.....................	14,43
O.....................	7,50

sur 100 parties, résultat moyen.

La conséquence de ce fait a été de supprimer *complètement* toute consommation de houille en dehors des gaz combustibles, tant aux chaudières qu'aux appareils à air chaud, et ce résultat a été d'autant plus remarquable que les chaudières disposées verticalement et les appareils à air chaud à un seul rang de tuyaux étaient dans des conditions d'installation imparfaites.

L'analyse des gaz appliquée à un haut fourneau permet d'en prévoir les dérangements avec une sûreté très-grande.

A l'usine de Liverdun, près Nancy, où depuis deux ans cet appareil est en service, les analyses de gaz ont toujours averti vingt-quatre heures d'avance de l'allure du lendemain, et ont permis d'obvier immédiatement aux

dérangements qui auraient pu survenir, soit en agissant par augmentation ou diminution dans le poids des charges, soit en faisant varier la pression, le chauffage du vent ou la nature des matières chargées.

Ainsi, par exemple, le haut fourneau n° 1, marchant en fonte blanche d'affinage, on analyse le gaz le 1er septembre 1874, on trouve :

				En volume.	En poids.
1°	CO^2	8	$\frac{CO^2}{CO}$	= 0,333	0,533
	CO	24			
	Az	68			
		100			

le soir, nouvelle analyse :

				En volume.	En poids.
2°	CO^2	9	$\frac{CO^2}{CO}$	= 0,428	0,685
	CO	21			
	Az	70			
		100			

Cette augmentation de $\frac{CO^2}{CO}$ est un indice de refroidissement (*) qui se prépare ; en effet, le 2 la fonte est moins chaude, la production descend de 33.930 à 28.300 kilog. ; en forçant un peu la température du vent chaud, on parvient à ramener le fourneau dans son allure antérieure, et le 3 la fonte redevient chaude. Quelques jours plus tard, le 16 et le 17, une fonte très-chaude est accompagnée d'une diminution dans la valeur du rapport $\frac{CO^2}{CO}$:

				En volume.	En poids.
16	CO^2	7,5	$\frac{CO^2}{CO}$	= 0,365	0,584
	CO	20,5			
17	CO^2	6	$\frac{CO^2}{CO}$	= 0,250	0,400
	CO	24			

(*) J'entends ici par refroidissement, refroidissement de la fonte, car lorsque la proportion d'acide carbonique augmente, cela indique réellement un réchauffement du fourneau plutôt qu'un refroidissement.

Cette valeur plus faible due à la plus faible pression de vent qui a précédé permet d'augmenter la pression, et les jours suivants la production monte à 41.850, 40.600, 39.560, 43.170.

En somme, depuis deux ans que l'analyse des gaz a été appliquée à ce haut fourneau, aucun des nombreux désordres qui surviennent souvent ailleurs ne s'est manifesté. L'allure normale a été maintenue, sans s'en départir.

M. Muller, à Ivry près Paris, a employé un gazogène pour le chauffage d'une chaudière à vapeur. L'entrée de l'air pouvant être réglée au moyen d'un registre gradué, la combustion s'opère dans les conditions les plus favorables possibles.

Ainsi, tandis que le gazogène fournit un gaz combustible renfermant moyennement :

CO^2.	0 à 1 p. 100
CO.	16 à 21 p. 100

les gaz de la combustion donnent après réglage :

CO^2.	15 à 19 1/2 p. 100
O.	0 à 4 p. 100

et le poids d'eau vaporisée par kilogramme de combustible s'élève en moyenne à $9^k,04$.

L'apareil analysateur a été appliqué aussi au gazogène Ponsard et à son récupérateur de chaleur; voici quelques chiffres d'analyses :

Gaz combustibles.

	I	II	III	IV
CO.	21	22,5	22	24
CO^2.	6	4,5	4,5	4

sur 100 volumes de gaz.

Gaz brûlés à la sortie du récupérateur.

	I		II			III		IV		
CO^2. .	15	16	15	16	18	15	17	15	17	18
O. . .	2	0,5	3	1	0	2,5	0,5	3	1	0
CO. . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ce sont les mêmes gaz que ci-dessus.

Ici l'appareil a permis de régler les admissions d'air de façon à descendre dans chacun des cas à une proportion nulle d'oxygène, l'oxyde de carbone étant lui-même absent dans toutes les analyses. Aussi l'appareil est-il employé couramment pour ce réglage.

Enfin, comme dernier exemple, je citerai quelques chiffres d'analyses faites sur des locomotives en marche. La facilité de transport de l'appareil a permis de l'appliquer à cette étude et les trépidations de la marche n'influencent pas notablement les lectures des volumes. On l'a employé aux chemins de fer du Nord, d'Orléans, de l'Est et du Midi. Voici la disposition adoptée par la compagnie du Nord : l'appareil est logé dans un fourgon qui suit la machine, un tube de cuivre et de caoutchouc amène les gaz de la boîte à fumée dans le fourgon au moyen d'un aspirateur spécial. L'analyse en est faite immédiatement.

Il serait certainement fort intéressant de développer ici les résultats obtenus dans une série d'expériences appliquées à des types divers de locomotives et qui a duré plus de trois mois pendant un parcours de plus de 2.500 kilomètres; mais pour ne pas excéder les limites de cette note, je me bornerai à citer quelques résultats moyens, obtenus dans des circonstances différentes.

Voici d'abord une analyse moyenne des gaz d'une locomotive Crampton pendant un parcours de 147 kilomètres (Paris, Amiens) :

CO^2. . .	12,46	moyenne de 13 prises d'essai (*)
O. . . .	3,46	
CO. . .	4,75	
Reste. .	79,33	
	100,00	

Le chargement de la grille est exclusivemeut composé de briquettes.

La même machine, alimentée par un mélange de briquettes et de menu charbon gras, a donné pour le même trajet (15 analyses) :

CO^2.	15,75
O.	1,57
CO.	2,25
Reste.	80,43
	100,00

Une machine à grande vitesse à deux roues couplées à foyer disposé pour brûler le gros donne pour le même trajet (16 analyses) :

CO^2.	14,26
O.	2,24
CO.	2,26
Reste.	81,24
	100,00

Le même type de machine à large foyer pour brûler, le

(*) Comme contrôle de la marche de l'appareil, on a d'abord expérimenté avec deux d'entre eux concurremment; au bout de huit ou dix voyages, les lectures étant concordantes, on a renoncé à cette double manœuvre. On a alors, dans un certain nombre d'essais, ajouté un aspirateur spécial qui a fait une prise de gaz continue pendant toute la durée du trajet. L'analyse de cet échantillon moyen, faite à l'arrivée, a donné un résultat absolument concordant avec les moyennes citées ici; cet accord est un fait très-remarquable au point de vue de l'exactitude qu'on peut obtenir avec l'appareil analyseur, et au point de vue du soin avec lequel les prises de gaz ont été faites pendant la marche.

tout-venant donne comme moyenne de 31 analyses pour 147 kilomètres (Paris, Tergnier) :

CO^2	13,63
O	4,83
CO	0,46
Reste	81,08
	100,00

Enfin une machine à marchandises à quatre essieux couplés alimentée par du tout-venant gras donne sur un parcours de 51 kilomètres (moyenne de 17 analyses), de Paris à Creil :

CO^2	11,61
O	7,36 (*)
CO	0,32
Reste	80,71
	100,00

Il ressort des nombres cités que la combustion sur les grilles de locomotives se fait toujours malgré le tirage avec un excès d'air relativement très-faible.

L'emploi du combustible menu répandu en couche mince sur la grille semble aussi, d'après ces chiffres, être beaucoup plus favorable pour éviter la perte des gaz combustibles.

(*) Le trop grand excès d'air amène une perte de chaleur aussi grande que la présence de quelques centièmes d'oxyde de carbone. En admettant que les gaz chauds dussent abandonner la chaudière à une température supérieure de 150° à celle de l'eau de cette chaudière, on a trouvé dans ces applications aux locomotives que la perte de calories due à la présence de 1 p. 100 d'oxyde de carbone est environ 2,4 fois plus forte que celle due à la présence de 1 p. 100 d'oxygène. Il suit de là que dans les cinq analyses moyennes citées ci-dessus, la perte totale de calories serait représentée par des nombres proportionnels aux suivants :

1° $3,46 + 4,75 \times 2,4 = 13,86$
2° . . . . = 6,97
3° . . . . = 7,66
4° . . . . = 5,93
5° . . . . = 8,13

D'ailleurs le détail des analyses prouve d'une manière évidente ce que l'on savait très-bien déjà, c'est-à-dire l'avantage de charger les grilles fréquemment et de donner une faible épaisseur à la couche de combustible.

Une addition à l'appareil qui vient d'être décrit permet de l'utiliser au dosage approximatif de l'hydrogène et des hydrocarbures. Voici en quoi elle consiste. Toute la partie de l'appareil qui sert à l'absorption reste identique; seulement la rampe, au lieu de s'arrêter au mesureur, se prolonge à droite et porte un robinet qui permet de mettre en communication le mesureur avec cette partie nouvelle servant au dosage des hydrocarbures.

Le principe qui est appliqué pour ce dosage est celui de la combustion des gaz en présence d'un excès d'oxygène. La combustion s'opère en faisant passer les gaz mélangés d'air atmosphérique en excès dans un tube de platine capillaire enroulé en spirale et chauffé au rouge blanc au moyen d'un bec de gaz ou d'une lampe à alcool. Il n'y a pas d'explosion à craindre dans cette combustion à cause de l'azote qui se trouve toujours en grand excès et de la capillarité du tube de platine. Il est indispensable, pour opérer une combustion complète, de mélanger le gaz à analyser avec une certaine proportion de mélange détonant ou, ce qui revient au même, d'hydrogène pur avec un excès d'air un peu plus grand.

La disposition générale est alors la suivante : du mesureur le gaz se rend par une rampe auxiliaire dans un petit serpentin vertical en platine dont l'autre extrémité communique avec un tube en U rempli d'eau analogue à ceux qui contiennent les réactifs absorbants; ce réservoir n'a d'autre but que de servir de récipient aux gaz expulsés du mesureur et de les renvoyer de nouveau au mesureur. En outre, avant le robinet situé sur la rampe auxiliaire se trouve une tubulure qui communique avec un autre tube en U. Ce

second tube en U renferme une lame de zinc et de l'acide sulfurique étendu. Le zinc s'attaquant en présence de l'acide sulfurique donne de l'hydrogène pur qui se rend dans le sommet du tube en U tandis que le liquide est repoussé dans l'autre branche. C'est donc une source continue d'hydrogène pur analogue à celle du briquet à hydrogène.

En deux ou trois passages la combustion du mélange des gaz est opérée, et en faisant repasser deux ou trois fois les gaz dans la spirale de platine après avoir éteint la lampe, le gaz a repris sa température et son volume peut être mesuré à nouveau sans erreur sensible.

Voici alors la manière d'opérer. Le tube mesureur dans cette disposition doit être gradué en 200 divisions afin de pouvoir apprécier plus exactement les lectures.

On prend 200 divisions de gaz à analyser. On opère dans la partie gauche de l'appareil exactement comme je l'ai indiqué ci-dessus. On dose ainsi l'acide carbonique, l'oxygène, l'oxyde de carbone. Le résidu non absorbable est supposé contenir tous les hydrocarbures et l'azote. On en prend alors 40 ou 50 divisions en mettant le reste du gaz en excès dans le tube à pyrogallate qui sert ainsi de réservoir pour ce gaz, ce qui permet d'en faire une seconde analyse qui servira de contrôle à la première. On ajoute 10 ou 15 divisions d'hydrogène pur suivant la quantité probable d'hydrocarbures et l'on ajoute enfin 130 à 140 divisions d'air atmosphérique que l'on introduit par le robinet I en plaçant l'aspirateur sur son pied, puis on note exactement ces chiffres. On fait alors passer lentement le mélange gazeux à travers la spirale incandescente en ayant bien soin d'éviter l'entraînement de l'humidité dans le tube de platine, car cela pourrait amener la rupture du tube de verre, puis on refroidit le gaz et on lit la contraction opérée. Dans ce gaz brûlé, on dose alors CO^2 et O restant (ce dernier au moyen du chlorure de cuivre ammoniacal). Si l'on s'apercevait qu'il ne reste pas d'oxygène après la com-

bustion, cela peut indiquer que la combustion n'est pas complète; dans ce cas, on peut ajouter encore de l'air et de l'hydrogène et faire une nouvelle combustion, mais il est préférable de recommencer l'analyse sur le résidu mis en réserve.

La combustion complète a transformé de cette façon le carbone en acide carbonique, l'hydrogène en eau. Voici maintenant les considérations qui permettent de s'éclairer sur la nature de ces hydrocarbures.

L'acide carbonique produit par cette combustion est obtenu immédiatement. Quant à la vapeur d'eau produite, il est très-simple de la calculer. En effet, le volume d'air introduit ayant été de p divisions, cela réprésente $0,21\,p$ d'oxygène et $0,79\,p$ d'azote; or l'oxygène a servi : 1° à brûler l'hydrogène ajouté au mélange; 2° à brûler l'hydrogène des hydrocarbures; 3° à brûler le carbone des mêmes composés; 4° à rester en excès dans le mélange final. De ces quatre quantités, trois sont données immédiatement puisque l'hydrogène ajouté a exigé son demi-volume d'oxygène pour brûler, que d'autre part, le carbone, en se transformant en acide carbonique, a exigé un volume d'oxygène égal au volume d'acide carbonique produit et dosé et qu'enfin l'oxygène libre finalement a été dosé. On connaît donc l'oxygène qui a servi à brûler l'hydrogène des hydrocarbures, et comme cet oxygène a fourni un volume de vapeur d'eau double du sien, il est bien simple de calculer l'hydrogène des hydrocarbures en volume ou en poids.

Enfin, on peut encore obtenir le volume total des composés hydrocarburés; car, après toutes les combustions et absorptions, le mesureur ne contient plus que de l'azote qui provient de deux sources : l'azote réel du gaz analysé, et l'azote de l'air introduit $= 0,79p$. On a par différence le volume d'azote du gaz analysé, et comme avant la combustion on avait le volume de l'azote et des hydrocarbures, une simple différence donnera ce dernier.

On a donc ainsi déterminé le volume des hydrocarbures et leur composition approchée sans aucune hypothèse sur le groupement de l'hydrogène et du carbone. Il serait très-simple aussi de déduire des données ci-dessus la contraction produite par la combustion et la quantité d'air nécessaire à cette combustion complète.

Cette méthode permet une évaluation assez rapide et suffisamment approchée. Plus les hydrocarbures sont condensés, plus la détermination de l'acide carbonique est facile, moins au contraire ils le sont, plus la contraction est marquée et plus l'hydrogène est évalué commodément.

Cette méthode a néanmoins un inconvénient en ce que l'air introduit ne renferme que $\frac{1}{5}$ d'oxygène, et comme certains hydrocarbures (comme le gaz oléfiant, par exemple) exigent trois fois leur volume d'oxygène pour brûler complétement, il faut introduire un volume d'air égal à quinze fois le volume de cet hydrocarbure sans compter celui qu'on doit ajouter pour brûler l'hydrogène introduit dans le mélange. Cependant la simplicité de l'opération a fait préférer ce procédé à l'introduction d'oxygène pur dans le mesureur. Il ne faut pas oublier non plus qu'il n'y a là qu'une approximation; en effet, les hydrocarbures sont un peu absorbables par le chlorure de cuivre et l'acétylène entre autres, qui se trouve dans quelques gaz en proportions très-faibles, donne immédiatement avec ce sel de cuivre un précipité rouge d'acétylure de cuivre que l'on aperçoit très-bien. Cependant les résultats sont suffisamment comparables pour rendre des services dans l'étude des combustions. L'erreur absolue est toujours faible, 1/2 à 1 p. 100 environ; cela dans quelques cas peut, il est vrai, donner une erreur relative très-forte sur la composition exacte de quelques centièmes d'hydrocarbures, mais au point de vue de la discussion des valeurs calorifiques, une différence même très-notable dans la composition des

hydrocarbures joue un rôle bien peu important lorsque ces gaz sont eux-mêmes en très-minime proportion. Ce procédé peut déceler aisément une faible proportion de grisou dans les gaz des mines ou d'hydrogène dans les gaz des hauts fourneaux. Pour l'analyse d'hydrocarbures purs comme le gaz d'éclairage, il ne présente pas de suffisantes garanties d'exactitude en opérant comme il vient d'être dit, principalement à cause de l'énorme volume d'air nécessaire à la combustion.

Bien que la pratique n'ait pas encore prononcé définitivement sur la valeur de cette addition pour l'analyse des hydrocarbures, voici cependant un exemple d'analyse de gaz combustibles extraits d'un gazogène Siemens appliqué à un four de verrerie. Les gaz ont été pris près des valves de renversement.

				ou pour 100 parties
Pris gaz combustible,	200	divisions.		
Absorption par KO.	188	CO^2	12.	6
— par pyrogallate.	188	O	•	o
— par chlorure de cuivre.	145	CO	43	21,5

Sur le résidu, analyse des hydrocarbures, pris :

50	divisions.
10	H. pur.
140	air = 29O. + 111 Az.
200	

Opéré la combustion,

Reste.	177		
Absorption par KO.	175,5	O libre	17,5
— par chl. de cuiv.	158	CO^2. .	1,5
Oxygène employé pour brûler. . .	10	H libre	5,0
Oxygène employé pour brûler l'hydrogène des hydrocarbures.		5,0	volume de la vapeur d'eau = 10.
Total égal		29,0	

D'autre part,

Az introduit.	111	volume des hydrocarbures = 3.
Az du gaz analysé.	47	
Volume égal au reste final.	158	

Une simple proportion ramène ces chiffres au volume en centièmes qui devient ainsi en résumé :

CO^2.	6
O.	0
CO.	21,5
Hydrocarbures.	4,35
Azote.	68,15
	100,00

de plus ces hydrocarbures donnent par combustion :

CO^2.	2,2
HO (vapeur).	14,5

Enfin la contraction de ces 4,35 volumes par la combustion est de 1,16 et ils exigent 45 volumes d'air pour se brûler. Il est clair par cet exemple qu'une différence d'une demi-division sur l'acide carbonique peut modifier considérablement la formule chimique des hydrocarbures sans que pourtant le pouvoir calorifique varie sensiblement. On voit aussi qu'une proportion faible relativement d'hydrocarbures est assez aisément décelée.

EXTRAITS DE GÉOLOGIE

POUR

LES ANNÉES 1874 ET 1875

Par MM. DELESSE et DE LAPPARENT.

Nous nous proposons de résumer les travaux de géologie les plus importants qui ont été publiés pendant les années 1874 et 1875.

Les ouvrages français ne seront généralement mentionnés que d'une manière sommaire, notre but étant surtout d'appeler l'attention sur les progrès de la géologie à l'étranger.

La classification adoptée pour cette *Revue de géologie* est à peu près celle du *Manuel* de M. J. D. Dana, et nous la diviserons en cinq parties (1):

I. PRÉLIMINAIRES ET OUVRAGES DE GÉOLOGIE.

II. GÉOLOGIE LITHOLOGIQUE.

Étude des roches et de leur gisement. — Roches proprement dites et roches métallifères.

III. GÉOLOGIE HISTORIQUE.

Étude des terrains au point de vue stratigraphique et paléontologique. — Lois du développement des végétaux et des animaux qui vivaient pendant la formation de ces terrains.

IV. GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.

Examen des cartes et des descriptions géologiques de diverses régions. — Géologie agronomique.

V. GÉOLOGIE DYNAMIQUE.

Étude des agents et des forces qui ont produit des changements géologiques, ainsi que de leurs effets et de leur mode d'action.

M. Delesse a spécialement traité la deuxième partie, comprenant les roches ou la géologie lithologique; il s'est occupé égale-

(1) *Manual of geology treating of the principles of the science with special references to American geological history*, etc., 1874.

ment de la géologie agronomique ainsi que du métamorphisme et des modifications subies par les roches.

M. de Lapparent s'est chargé de la troisième partie, comprenant les terrains ou la géologie historique; il s'est chargé en outre de la stratigraphie systématique.

Quant au reste du travail, il a été fait en commun.

PREMIÈRE PARTIE.

OUVRAGES GÉNÉRAUX.

M. James D. Dana (1) a publié un volume de *Géologie élémentaire*, destiné à donner des notions générales aux commençants. Le savant auteur explique les divers modes de formation des roches, l'origine des vallées et des dépressions de la surface terrestre, enfin celle des montagnes. Puis il décrit les divers terrains avec leurs faunes et termine par un examen rapide du développement progressif de la vie sur le globe terrestre.

— M. V. Raulin (2) a fait paraître ses *Éléments de géologie*, destinés à la deuxième année de l'enseignement secondaire spécial dans les lycées. Tandis que la première année est particulièrement consacrée à la France, ce nouveau volume donne, pour l'étranger, une description sommaire des divers terrains, en s'élevant des plus anciens aux plus modernes. Les exemples sont pris dans les îles Britanniques, en Russie, en Allemagne, en Suisse, en Italie, et M. Raulin présente un aperçu de la faune ainsi que de la flore de chaque terrain. Un dernier chapitre fournit quelques notions sur l'exploitation des substances minérales.

— Sous le titre de *Rudiments of geology* (3), M. Samuel Sharp a donné un ouvrage de géologie générale dans lequel le terrain oolithique, objet constant des études de l'auteur, est traité avec un soin particulier.

(1) *The geological Story briefly told.* New-York, 1875.

(2) Ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels pour l'enseignement secondaire spécial, deuxième année; Hachette, 1874.

(3) London, Stanford, 1875.

— M. David Page (1) est l'auteur d'une *Géologie économique*; c'est un manuel qui montre les relations de la géologie avec les arts et manufactures, par exemple avec l'agriculture, l'art de l'ingénieur, l'architecture, la fabrication des matériaux de construction, des verres, des émaux, des couleurs, etc. Des chapitres spéciaux sont consacrés aux matières salifères, aux sources minérales et thermales, aux pierres précieuses et aux minerais métalliques.

— M. Édouard Erdmann (2) a publié six *Tableaux de géologie* qui sont imprimés en chromolithographie et destinés à l'enseignement scolaire.

Ces tableaux sont une représentation succincte des principaux phénomènes géologiques et plus spécialement de ceux qui sont relatifs à la géologie de la Suède. Partant de l'origine du globe terrestre, ils en indiquent les transformations et les modifications successives; l'un d'eux figure l'action exercée par l'eau et par la glace sur la surface de la terre; un autre donne quelques fossiles caractéristiques des divers terrains; leur ensemble résume l'histoire de notre globe.

— Un ouvrage de géographie, publié actuellement par M. Élisée Reclus (3), fournit un très-grand nombre de données sur la *géographie physique*, et, à ce titre, il peut être utilement consulté par le géologue. Il en est de même pour les Annuaires géographiques de MM. Behm et Vivien de Saint-Martin, ainsi que pour divers travaux insérés dans le *Bulletin de la Société de géographie* et, en particulier, pour les rapports de M. Maunoir, secrétaire général de cette société.

— La *Minéralogie* de M. James D. Dana (4) a été mise au courant des dernières recherches par un premier appendice de M. le professeur Brush qui s'arrête à l'année 1872, et les découvertes faites jusqu'à l'année 1875 sont résumées dans un deuxième appendice qui est dû à M. Édouard S. Dana.

M. G. F. Rammelsberg (5) vient de publier une deuxième édition de son *Manuel de minéralogie chimique*, qui est bien connu de tous les minéralogistes. On y trouvera l'ensemble des recher-

(1) *Economic geology*. Edinburgh and London, 1874.

(2) *Géologie populaire* et *Exposé succinct de la formation du globe terrestre, ainsi que de la position relative et de la constitution des roches et des terrains*. Stockholm. Norstadt.

(3) *Nouvelle géographie universelle. La terre et les hommes*, 1875.

(4) *Second appendix to the fifth edition of Dana's mineralogy*. — New-York, 1875.

(5) *Handbuch der Mineralchemie*. — Leipzig, 1875.

ches chimiques sur les substances minérales, y compris celles qui ont été faites jusque dans ces derniers temps.

—Deux essais de *classification générale des terrains* de l'écorce du globe ont été présentés, l'un par M. Renevier, l'autre par M. C. Mayer (1). Le premier donne une subdivision en ères, périodes, époques ou systèmes et âges ou étages, avec de nombreux tableaux synchroniques. Le second établit neuf formations ou systèmes qu'il divise en 62 étages et 142 sous-étages ou couches; chaque étage reçoit un nom univoque, tel que saharien, danien, vogésien, etc.

D'un autre côté, dans la 2e édition de son *Manuel de géologie*, M. James D. Dana (2) propose d'adopter la classification suivante pour les terrains :

		PÉRIODES.	ÉPOQUES.	
VII.		Age de l'homme ou quaternaire. .	Époque récente. — de Champlain. Époque glaciaire ou drift.	
VI.		Age des mammifères ou tertiaire.	Pliocène. Miocène. Eocène.	
V.	Age des reptiles.	Formation crétacée.	Étage supérieur.	Craie blanche ou supérieure. Craie grise ou inférieure.
			Étage moyen.	Greensand supérieur.
			Étage inférieur.	Greensand inférieur.
		Formation jurassique.	Époque wealdienne. Époque oolithique. Lias.	
		Trias.	Keuper. Muschelkalk. Grès bigarré.	
IV.	Age carbonifère.	Permien (Dyas).	Permien.	
		Période carbonifère.	Houiller supérieur. Houiller inférieur. Millstone Grit.	
		Groupe sous-carbonifère.	Supérieur. Inférieur.	
III.	Dévonien ou Age des poissons.	Groupe Catskill.	Catskill.	
		Groupe Chemung.	Chemung. Portage.	
		Groupe Hamilton.	Genesee. Hamilton. Marcellus.	
		Groupe Corniferous.	Corniferous. Schoharie. Cauda Galli.	

(1) *Revue géologique suisse*, 1874, 1.
(2) *Manual of Geology*, 2e édition. New-York, 1875, 142.

		PÉRIODES.	ÉPOQUES.
II. Silurien ou âge des invertébrés.	Silurien sup.	Groupe Oriskany.	Oriskany.
		Groupe Helderberg inférieur. . . .	Helderberg inférieur.
		Groupe Salina.	Salina.
		Groupe Niagara..	Niagara. Clinton. Medina.
	Silurien infér.	Groupe Trenton.	Cincinnati. Utica. Trenton.
		Groupe Canadien.	Chazy. Quebec. Calciferous.
		Primordial ou Cambrien.	Potsdam. Acadian.

I. Age Archaïque.

—La classification méthodique des sciences, d'après la méthode d'Ampère, a été spécialement appliquée à la *géologie* par M. Charles Sainte-Claire Deville (1) qui résume ainsi les rapports de cette science avec les autres :

Sciences mathématiques.	Astronomie. . . . . . Mécanique. . . . . . Géométrie.	(Géodésie.) (Stratigraphie.) (Cristallographie.)
Sciences physiques. . . .	Physique et chimie.	Minéralogie. Lithologie. Météorologie. Hydrologie.
Sciences naturelles. . .	Zoologie et botanique.	Paléontologie.

M. Charles Sainte-Claire Deville observe de plus que, par l'étude de la chronologie du globe, la géologie se rattache encore aux sciences historiques.

PRÉLIMINAIRES.

Densité moyenne du globe.

Sur l'invitation de M. G. Dewalque, M. Folie (2) a repris les calculs d'Airy relatifs à la détermination de la densité moyenne de la terre. Il a obtenu, par une nouvelle méthode analytique, et en acceptant toutes les données expérimentales d'Airy, le nombre 6,439 au lieu de 6,566. Bien que plus faible que le résultat primitif d'Airy, ce nombre s'écarte encore beaucoup du chiffre de Cavendish, 5,448, obtenu à l'aide de la balance de torsion.

Accroissement de la température dans l'intérieur du globe.

Anzin. — Des expériences ayant pour but de déterminer com-

(1) *Revue scientifique*. Juillet, 1875.
(2) *Bull. Acad. roy. de Belgique* [2], XXXIII, mai 1872.

ment la température varie à l'intérieur du globe ont été faites dans les mines de houille d'Anzin sous la direction de M. Commines de Marsilly (1).

Les thermomètres employés ont été fournis par M. le professeur Everett, secrétaire du comité institué par l'Association britannique pour les recherches de ce genre; ils étaient à maxima, du système Negretti et Zambra. Les expériences ont eu lieu dans quatre puits différents, servant à l'exploitation de la houille; les trois premiers se trouvaient dans la mine nommée Général-de Chabaud-Latour; le quatrième dans la mine Renard. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant qui donne la profondeur, la température correspondante, la date des observations et, dans la dernière colonne, la nature des terrains dans lesquels les thermomètres étaient placés.

PROFONDEUR.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	DATES des observations.		NATURE des terrains.
	Puits Général-de-Chabaud-Latour.			
	N° I.			
	—			
mètres.	degrés.			
38,5	13,62	11 janvier	1874	Dièves.
78,8	13,62	11 avril	—	Grès houiller.
90,0	14,45	2 juin	—	Schiste houiller.
110,6	15,00	23 juillet	—	Grès houiller.
124,0	15,11	10 septembre	—	—
154,0	16,11	18 février	1875	—
175,0	18,06	20 mai	—	—
200,5	19,68	15 décembre	—	Schiste houiller.
	N° II.			
87,3	12,78	10 avril	1875	Schiste houiller.
90,0	17,23	29 avril	—	Houille.
135,0	17,51	18 septembre	—	Grès houiller.
185,0	17,51	15 décembre	—	—
	N° III.			
87,8	13,34	11 avril	1874	Schiste houiller.
102,0	15,00	2 juin	—	Grès houiller.
144,0	16,95	9 septembre	—	Schiste houiller.
	Puits Renard.			
	N° IV.			
21,2	21,53	28 novembre	1873	Marnes.
54,7	22,78	12 février	1874	Dièves.
98,4	27,78	23 avril	—	Schiste houiller.
111,1	28,48	8 mai	—	—
124,2	28,61	22 mai	—	—
134,8	28,89	1er juin	—	—

(1) Lettre de M. de Marsilly à M. Delesse, 26 décembre 1875.

On voit immédiatement, qu'à profondeur égale, la température est beaucoup plus élevée dans le puits Renard que dans les puits Chabaud-Latour; cette différence doit sans doute être attribuée à ce qu'on a rencontré beaucoup d'eau dans le creusement de ces derniers puits, tandis que le puits Renard était parfaitement sec. Ainsi, dans les puits Chabaud-Latour, tous les trous de mines, percés dans les parois pour y introduire le thermomètre, se trouvaient noyés; au puits Renard, au contraire, ils étaient dans le schiste ou bien dans des couches imperméables dans lesquelles il n'y avait qu'un léger suintement.

Du reste, les puits Chabaud-Latour présentent aussi de grandes différences entre eux. Au puits n° 11, en particulier, la température, qui est de 10°,78 pour 87m,3, saute brusquement à 17°,23 pour 90 mètres; mais cette anomalie doit tenir à ce qu'à la profondeur de 90 mètres, le thermomètre était placé dans une couche de houille qui tendait à s'échauffer par oxydation.

En résumé, si l'on calcule le degré géothermique de Naumann, c'est-à-dire la profondeur de laquelle il faut s'enfoncer pour avoir une augmentation de température de 1° centigrade, on trouve, dans la limite des observations qui ont été faites à Anzin :

I.	26m,73	III.	15m,56
II.	20 ,67	IV.	15,,46

Malgré la grande différence de température constatée dans les puits III et IV, à profondeur égale, on peut remarquer que le degré géothermique y est presque le même.

Constatons aussi que le degré géothermique dans les mines de houille d'Anzin est beaucoup plus petit que dans les puits artésiens traversant les couches du bassin parisien, car il se réduit quelquefois à moitié. Des résultats analogues ont déjà été obtenus dans les mines de houille de France et d'Allemagne.

Speremberg. — Un trou de sonde percé à Speremberg, à une quarantaine de kilomètres au sud de Berlin, se trouve en ce moment à la profondeur de 4.042 pieds, la plus grande qu'on ait atteinte jusqu'à présent dans les sondages. Des expériences précises y ont été faites pour déterminer la loi de l'accroissement de la température, et elles sont d'autant plus importantes qu'au lieu de traverser des roches de conductibilité différente, ce sondage reste entièrement dans le sel gemme (1).

(1) *Poggendorf Annalen*, CXXXXVIII, 319.

M. le professeur Möhr (1), partant de ces expériences, a déterminé, par la méthode des moindres carrés, l'accroissement en degrès Réaumur correspondant à 100 pieds de profondeur :

PROFONDEUR.	ACCROISSEMENT pour 100 pieds de profondeur.	PROFONDEUR.	ACCROISSEMENT pour 100 pieds de profondeur.
pieds.	degrés Réaumur.	pieds.	degrés Réaumur.
100 — 200	1,35	1.700 — 1.900	0.846
200 — 300	1,30	1.900 — 2.100	0,795
300 — 400	1,25	2.100 — 2.300	0,745
400 — 500	1,20	2.300 — 2.500	0,695
500 — 600	1,15	2.500 — 2.700	0,640
600 — 700	1,10	2.700 — 2.900	0,595
700 — 900	1,097	2.900 — 3.100	0,545
900 — 1.100	1,047	3.100 — 3.300	0,495
1.100 — 1.300	0,997	3.300 — 3.390	0,445
1.300 — 1.500	0,946	Vers 5.170	0
1.500 — 1.700	0,896		

Conformément aux résultats obtenus dans d'autres sondages et, particulièrement à Grenelle, la température croît moins rapidement qu'en progression arithmétique. M. Möhr observe même qu'avec une diminution de 0°,05 R. dans la raison de la progression pour une épaisseur de 200 pieds, les 0°,445 Réaumur correspondant à la profondeur de 3.390 pieds, se réduiraient à 0° pour une épaisseur de $\frac{0,445}{0,05} \times 200 = 1.780$ pieds, comptés au-dessous des 3.390 pieds, c'est-à-dire pour 5.170 pieds; à cette profondeur, la température serait constante.

Malgré l'incertitude de calculs de ce genre, pour lesquels les données font défaut, il est certain qu'il y a diminution dans la raison de la progression, à mesure qu'on pénètre à des profondeurs plus grandes dans l'intérieur de la terre. Du reste, en étudiant le refroidissement à l'intérieur d'un globe de basalte fondu, G. Bischof avait obtenu le même résultat, en sorte que ce dernier n'est aucunement incompatible avec une origine ignée de la terre. Quoi qu'il en soit, M. Möhr est d'un avis contraire; abandonnant la théorie de La Place, qui est si généralement acceptée, il pense que c'est dans les couches supérieures de la terre qu'on doit chercher les causes de l'accroissement de température constaté dans son intérieur. Suivant lui, la fusion des laves ne doit pas être attribuée à la chaleur centrale, mais à un développement local de chaleur produit par des affaissements qui résultent de l'action de la mer, ce qui expli-

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875.

que pourquoi les volcans se trouvent dans son voisinage. Parmi les autres causes de la chaleur du globe, M. Möhr indique la production de nouvelles roches cristallines par l'infiltration de dissolutions qui ont été échauffées par le soleil; il indique, en outre, les actions chimiques, telles que la formation d'acide carbonique résultant d'une double décomposition de l'oxyde de fer et de matières organiques, la production de pyrite de fer et de blende, la réduction des sulfates de fer et de zinc au contact des matières organiques, ainsi que l'inflammation spontanée des combustibles minéraux.

Enfin M. Möhr conteste l'origine ignée du granite, et nous ne pouvons que nous associer aux idées qui sont développées dans cette partie de son travail (1).

DEUXIÈME PARTIE.

LITHOLOGIE.

La lithologie ou l'étude des roches est, chaque année, l'objet d'un grand nombre de travaux qui intéressent toutes les personnes s'occupant de géologie; nous allons présenter un résumé sommaire de ces travaux, en nous attachant plus particulièrement à ceux qui fournissent des données nouvelles sur la composition minéralogique et chimique des roches ou bien sur leur structure microscopique.

Lorsqu'on voudra comparer les analyses nouvelles avec celles qui ont été faites précédemment, il conviendra d'ailleurs de consulter quelques ouvrages spéciaux, notamment ceux de MM. Justus Roth, Kenngott, G. Bischof, Tschermak, ainsi que le *Neues Jahrbuch*, le *Jahresbericht der Chemie* et les douze volumes déjà publiés de la *Revue de géologie*.

---

(1) Delesse : *Recherches sur l'origine des roches éruptives.*

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ROCHES.

Structure prismatique du basalte.

M. Robert Mallet (1) a fait des recherches sur les divers modes de division du basalte.

Supposons d'abord une vaste coulée de basalte en fusion, d'une homogénéité parfaite, ayant en outre ses deux faces, parallèles, exactement de niveau et indéfiniment étendues dans le sens horizontal. Supposons encore que la surface supérieure seule se refroidisse lentement et très-régulièrement. Au bout d'un certain temps, il se sera formé, sur la surface considérée, une croûte solide qui continuera elle-même à se refroidir, tout en augmentant d'épaisseur. La tendance à la contraction, due au refroidissement, déterminera dans la croûte élastique et résistante des tensions horizontales parfaitement égales dans tous les azimuts et pour tous les points de la superficie ; il doit s'ensuivre un fendillement partant de la surface et se propageant, de haut en bas, suivant des plans perpendiculaires aux forces agissantes, c'est-à-dire à la superficie même de la coulée. D'autre part, la rupture aura lieu nécessairement suivant le tracé pour lequel l'effort total employé à la produire est un minimum ; et cette condition est réalisée quand les intersections des plans de rupture avec la surface supérieure de la coulée forment un réseau d'hexagones réguliers et égaux entre eux. Quant aux dimensions absolues de ces hexagones, elles dépendent des rapports qui existent entre le coefficient d'élasticité du basalte considéré et celui de sa résistance à la rupture par traction.

Le refroidissement continuant, les surfaces d'égale température restent planes et horizontales, tout en s'abaissant graduellement : les fissures les suivent, en se propageant de haut en bas et en leur restant perpendiculaires, ce qui produit la division en prismes verticaux et à arêtes rectilignes.

Si maintenant nous considérons isolément la partie récemment formée d'un des prismes dont il vient d'être question, nous reconnaissons, qu'en vertu de sa température encore élevée, elle tend à se contracter sur elle-même, tant en longueur qu'en largeur ; et pour peu que cette portion de prisme soit contrariée dans son affaissement, il en résultera une traction principale dirigée paral-

(1) *Proceedings of the Royal Society*. 1875, n° 158. (Extrait par M. de Cossigny.)

lèlement à l'axe et qui tendra à séparer une portion du prisme déjà formé de son prolongement inférieur.

Une molécule appartenant au tronçon supérieur du prisme, et située à la hauteur où le tronçonnement tend à se produire, est sollicitée à se séparer de celles qui sont immédiatement au-dessous d'elle, par deux forces, l'une verticale, et la plus grande, dirigée de bas en haut; l'autre horizontale et dirigée vers l'axe du prisme. La résultante de ces deux forces est une ligne oblique, située dans un plan qui contient l'axe du prisme et rencontrant elle-même cet axe à une certaine hauteur au-dessus de la molécule considérée. Or, la rupture devant se produire suivant un plan perpendiculaire à la direction de l'effort qui la détermine, donnera lieu à une facette oblique infiniment petite. Le même raisonnement s'appliquant à tous les points de la section, et la composante horizontale diminuant d'ailleurs rapidement à mesure qu'on considère des points de plus en plus rapprochés de l'axe du prisme, on conclut facilement que la division réelle doit s'opérer suivant une surface sphéroïdale ayant sa concavité tournée vers la superficie extérieure ou réfrigérante.

Quant aux irrégularités que présentent, dans la nature, les bases hexagonales des prismes, ainsi qu'à la substitution fréquente du pentagone à l'hexagone, elles s'expliquent, soit par des défauts d'homogénéité de la matière d'où résultent des points de moindre résistance, soit par des inégalités dans la répartition de la chaleur qui altèrent l'égalité parfaite que nous avons primitivement supposée entre toutes les tensions horizontales.

On passe de ce qui précède aux divers cas particuliers que présentent les masses basaltiques, en se rappelant, qu'au début, la division prismatique doit toujours s'opérer perpendiculairement à la surface réfrigérante, quelle qu'en soit d'ailleurs la forme, plane, convexe ou concave : et que les fissures se propagent ensuite en demeurant sans cesse normales aux surfaces d'égale température. Ainsi s'expliquent les dispositions convergentes ou divergentes des prismes que l'on rencontre si souvent dans la nature, et même les directions curvilignes qu'affectent parfois leurs axes; ce dernier cas se produisant toutes les fois que les surfaces internes d'égale température ne restent pas, pendant tout le temps du refroidissement et dans toute l'étendue de la coulée, parallèles à elles-mêmes et à la surface extérieure.

Enfin, quand le refroidissement s'opère à la fois par plusieurs surfaces extérieures, il se forme simultanément, et à partir de chacune d'elles, plusieurs systèmes de prismes, dont la rencontre se

fait, à l'intérieur de la masse, et qui se raccordent par des lits d[e] fragments anguleux.

Ce qui caractérise la théorie de M. R. Mallet, c'est qu'il la fon[de] exclusivement sur le principe physique de la contraction des cor[ps] par le refroidissement, sans recourir à aucune autre hypothè[se] relative soit aux effets de la cristallisation, soit à l'existence [de] certains centres particuliers d'attraction ; et qu'il repousse d'a[il]leurs l'intervention de toute espèce d'action mécanique extérieure. Il ne rend d'ailleurs pas compte de la structure prismatique qu'[on] observe dans certaines roches sédimentaires qui n'ont pas su[bi] l'action de la chaleur, comme le gypse, le quadersandstein et cer[]tains grès. Au fond, les idées de M. R. Mallet sont à peu près celles qui ont été professées en France, depuis environ trente ans, p[ar] Élie de Beaumont. Mais il appartient à M. R. Mallet d'avoir complété et développé la théorie dont elles sont le point de départ, en les appliquant à toutes les particularités que présente le basalte dans ses divers modes de division spontanée.

Structure amygdalaire cylindrique.

Dans les montagnes Maluté, entre les routes d'Orange, de Nat[al] et de la Cafrerie indépendante, M. J. Olpen a observé des méla[]phyres qui présentent une structure amygdalaire exceptionnelle. D'après M. E. Cohen (1), les amandes contenues dans ces méla[]phyres ont une forme cylindrique, soit arrondie, soit comprimée, avec des ramifications ; comme elles sont de couleur rouge, parce qu'elles ont été remplies par de l'heulandite, au premier abord on serait tenté de leur attribuer une origine organique et de les prendre pour du corail.

La structure amygdalaire cylindrique doit tenir à des dégage[]ments de gaz qui avaient lieu dans une masse faiblement plastique; ces gaz s'élevaient très-lentement; tantôt ils restaient parallèles l'un à l'autre et tantôt ils se rejoignaient ou se bifurquaient. [À] cette période de sa formation, le mélaphyre n'était déjà plus e[n] mouvement, puisque les cavités cylindriques ne sont pas allongées dans le sens de sa stratification. Du reste, ces cavités sont rugueuses sur leur surface intérieure et il en est de même sur la surface extérieure du noyau d'heulandite qui les a remplies. Quant [à] leur longueur, elle peut dépasser 5 centimètres ou bien au con[]traire devenir microscopique.

(1) *Neues Jahrb.*, 1875, 113.

Coefficient de frottement.

M. F. Pfaff (1) a cherché à déterminer expérimentalement le coefficient de frottement de quelques roches. Celles sur lesquelles il a opéré sont le schiste, le calcaire de Solenhofen, le grès du Keuper. Deux plaques de chacune de ces roches étaient superposées, de manière que leur surface de contact fût horizontale; puis M. Pfaff mesurait, en chargeant un plateau, attaché à l'extrémité d'un fil passé sur une poulie, quelle était la force horizontale nécessaire pour faire glisser la plaque supérieure; cette force variable avec la nature de la roche, était ensuite comparée au poids de la plaque supérieure. L'expérience a montré qu'elle est représentée par 1 pour le schiste, par 1,5 pour le calcaire de Solenhofen, par 3 pour le grès.

Comme le remarque M. Pfaff, la force susceptible de déplacer des bancs de roche, superposés horizontalement, est donc au moins égale à celle qu'il faudrait pour les soulever verticalement.

Résistance des roches à l'écrasement.

M. Paul Bach (2), inspecteur des chemins de fer de Hongrie, a fait, à la fabrique de wagons de Simmering, des expériences sur la résistance à l'écrasement de différentes pierres de construction, telles que granites, grès, calcaires et trachytes des Karpathes.

DÉSIGNATION de la roche.	LOCALITÉS.	RÉSISTANCE à l'écrasement par centimètre carré.
		kilog.
Granite	Mengsdorf, près Lucsivna (Hongrie)	1.225
Id.	Mauthausen (Haute Autriche)	813
Id.	Metten (Bavière)	590
Id.	Neuhaus (Haute Autriche)	565
Trachyte	Eperies	412
Id.	Neusohl	194
Id.	Sator Allya Ujhely	148
Id. celluleux	Teronya	94
Id.	Tarna	80
Id.	Liszko	61
Grès	Oszlawica	303
Id.	Zagorz	217
Id.	Vidrany	189
Id.	Borro	150
Calcaire jaune	Oravitza	242
Id. brun	Rev	212

(1) *Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft*, etc., 316.
(2) *Exposition internationale de géographie*, 1875.

Conformément aux résultats obtenus dans des expériences antérieures, on voit qu'une même roche présente de grandes inégalités dans sa résistance à l'écrasement; ces inégalités s'observent aussi bien dans des roches sédimentaires, comme le grès, que dans des roches cristallines, comme le granite et le trachyte.

Diminution de la densité des silicates par la fusion.

M. Cossa (1), soumettant à la fusion de l'orthose, de l'hornblende ainsi que de la syénite de Bielle et comparant ensuite leur densité à celle des verres obtenus, a trouvé la diminution de densité constatée déjà dans des recherches analogues (2).

	DENSITÉ DU SILICATE		RAPPORT des deux densités.
	naturel.	fondu.	
Orthose.	2,572	1,97	0,766
Hornblende.	3,157	3,08	0,976
Syénite.	2,710	2,43	0,897

La diminution de densité, qui est seulement de quelques centièmes pour l'horblende, s'élève presque jusqu'au quart pour l'orthose. Du reste, pour certains silicates, la densité peut augmenter par la fusion; d'après M. L. Elsner (3), c'est en particulier ce qui a lieu pour l'hornblende, lorsqu'en cristallisant par refroidissement, elle prend la forme de l'augite.

Solubilité d'un mélange de sels.

M. F. Pfaff (4) a entrepris quelques expériences sur la proportion de sulfate de soude, de magnésie et de cuivre, qui est dissoute, à la même température, lorsqu'on mélange ces trois sels deux à deux. Il a reconnu ainsi que la solubilité d'un sel peut être, tantôt augmentée et tantôt au contraire diminuée, par la présence d'un autre sel.

Comme le remarque M. Pfaff, il n'est donc pas possible de prévoir, d'après la solubilité d'une substance, quelle est la proportion qui en sera dissoute: car cette substance se trouve engagée dans des roches formées de minéraux complexes et traversées par des eaux souterraines qui ont elles-mêmes une composition très-variable.

(1) *R. Accademia delle scienze di Torino* [2], XXVIII.

(2) Recherches sur les verres provenant de la fusion des roches: *Bulletin de la Soc. géol.* [2], IV, 1320.

(3) *Revue de géologie*, VIII, 10.

(4) *Allgemeine Geol. als exacte Wissenschaft*, etc., 314.

Eau et sel marin dans les roches.

Dans une série d'expériences M. Pfaff (1) s'est encore proposé de déterminer l'eau qui est retenue mécaniquement dans les roches. Il a reconnu que le granite, la syénite, le porphyre, le gneiss, le micaschiste contiennent de cette eau; tandis qu'il n'y en a pas dans les laves, dans l'obsidienne, dans le basalte.

M. Pfaff a constaté, d'un autre côté, que toutes les roches, stratifiées ou non stratifiées, renferment généralement du sel marin.

Lithine dans les roches sédimentaires.

La lithine ne se trouve que dans un nombre de minéraux très-restreint (pétalite, lépidolite, mica ferro-magnésien, triphylline); cependant, les recherches faites dans ces dernières années montrent qu'elle est très-répandue; il y en a de petites quantités jusque dans les roches sédimentaires de différentes époques géologiques et même dans celles de l'époque actuelle.

En effet, au moyen de l'analyse spectrale, M. von Gorup a constaté sa présence dans les dolomies du Jura Franconien et M. Ritthausen dans une marne de la Prusse orientale. Récemment, M. Hilger a reconnu de la lithine dans différents étages du trias des environs de Wurzbourg. Il en signale dans le muschelkalk, particulièrement dans les couches à cycloïdes, à myophories, à cératites semi-partitus ainsi que dans celles à encrinites; du reste, ces mêmes couches contiennent aussi du plomb et du cuivre.

M. Hilger a également reconnu de la lithine, qui est même en quantité notable, dans un loess de la Hesse reposant sur du basalte (2).

De plus, il y a de la lithine dans les terres végétales et en particulier dans celles qui sont formées par la destruction de roches granitiques (3); on la retrouve également dans les cendres des végétaux qui se sont développés sur ces terres. La présence de la lithine peut alors s'expliquer par celle du mica ferro-magnésien, car ce minéral en renferme dans le granite aussi bien que dans la minette (4).

Enfin la lithine se retrouve encore dans les eaux minérales et jusque dans les eaux de la mer; c'est même aux eaux minérales de l'Auvergne que M. Truchot attribue la lithine des terres végétales de la Limagne.

---

(1) *Poggendorf Annalen*, CLXIII, 610.
(2) *Deutsche chem. Gesellschaft zu Berlin*, 1875.
(3) *Revue de géologie*, XII, 37.
(4) Delesse : *Annales des mines* [5], X, 317.

Baryte dans les feldspaths.

Des analyses de M. G. C. Wittstein confirment l'existence de la baryte dans le feldspath, particulièrement dans plusieurs orthoses provenant de la Bavière et du haut Palatinat. Du reste, on constate aisément sa présence, en attaquant les feldspaths par l'acide fluorhydrique qu'on déplace ensuite par de l'acide sulfurique. On trouve aussi de la baryte dans différentes roches feldspathiques, notamment dans certains mélaphyres.

Acide phosphorique dans les roches.

D'après les analyses faites dans ces dernières années, des proportions notables d'acide phosphorique ont été constatées dans presque toutes les roches cristallines ; il est facile de s'en assurer par les exemples suivants :

ROCHES.	LOCALITÉS.	AUTEURS des analyses.	ACIDE phosphorique pour 100.
Granite.	Hollsdorf en Saxe.	Stockhardt.	0,58
Granulite.	Penig Id.	Handke.	0,63
Gneiss.	Id. Id.	Id.	0,75
Gneiss amphibolique.	Rothenburg Id.	Streng.	0,31
Porphyre feldspathique.	Heichhagen en Westphalie.	Lossen.	0,19
Syénite.	Plauenscher Grund en Saxe.	Stockhardt.	0,18
Id.	Bielle en Italie.	Cossa.	0,58
Orthose.	Extrait de la syénite de Bielle.	Id.	0,37
Serpentine.	St-Austell en Cornouailles.	Phillips.	0,17
Diorite.	Hof en Bavière.	Senfter.	0,48
Amphibolite.	Duché de Baden.	Nessler.	0,70 à 1,24
Diabase.	Weilburg, duché de Nassau.	Senfter.	0,61
Id.	Luphode dans le Hartz.	Nessler.	0,25
Euphotide.	Steinbruch Id.	Streng.	0,44
Porphyre augitique.	Grödner en Tyrol.	Tschermak.	0,47
Mélaphyre.	Liebstadt en Bohême.	Id.	0,40
Id.	Hasselfeld dans le Hartz.	Lossen.	0,58
Dolérite.	Sababurg dans la Hesse.	Möhl.	0,04 à 0,83
Id.	Salzberg en Bohême.	Boriky.	1,86
Teschenite.	Bogustchowitz en Silésie autrichienne.	Tschermak.	0,43 à 1,25
Basalte.	Pardubitz en Bohême.	Lipold.	0,63
Id.	Orschweier, duché de Bade.	Platz.	0,89

Ces recherches, qui montrent la grande diffusion de l'acide phosphorique dans la nature, ont surtout de l'importance au point de vue de la chimie et de la géologie agricole ; elles expliquent pourquoi les terres sont naturellement pourvues d'acide phospho-

(1) *R. Accademia delle science di Torino* [2]. XXVIII. Cossa.

rique, lors même qu'elles proviennent de la destruction de roches cristallines et éruptives; pourquoi elles en sont pourvues, non-seulement lorsqu'elles se sont formées aux dépens de basaltes et de roches volcaniques, mais encore lorsqu'elles résultent de la décomposition de porphyres, de granites et même de serpentines.

Étude microscopique des roches.

L'étude microscopique des roches a continué à fournir des données plus précises sur leur structure et sur leur constitution minéralogique.

En examinant des schistes du Taunus, M. F. Zirkel (1) a constaté qu'ils contiennent fréquemment des cristaux de tourmaline. Ces cristaux sont en petits prismes, souvent terminés par des rhomboèdres, et ils offrent un dichroïsme extrêmement caractérisé. On les voit dans des schistes micacés, désignés sous le nom de phyllite, des environs de Wiesbaden. Il y en a aussi dans les schistes du Taunus à mica séricite. En outre, M. Zirkel a trouvé de la tourmaline dans les schistes de Recht, dans le cercle de Malmédy; ces derniers, qui ont une couleur isabelle et violet foncé, se montrent riches en grenats et sont d'un usage très-répandu comme pierres à aiguiser.

M. Sandberger a observé du zircon dans l'éclogite d'Eppenreuth et du Fichtelgebirge et M. Zirkel l'y a signalé aussi en cristaux microscopiques. Ces derniers sont souvent entourés par le grenat et M. Zirkel les a retrouvés avec les mêmes caractères dans le granulite de la Saxe où ils ont la forme d'une pyramide ditétragonale et où ils se reconnaissent à leur couleur brune, à leur dichroïsme qui n'est pas très-prononcé et surtout à leur grand pouvoir réfringent. M. Zirkel les signale également dans le micaschiste grenatifère de l'Erzgebirge ainsi que dans les schistes cristallins archaïques du Nevada et de l'Utah (Amérique du Nord).

M. F. Zirkel a constaté récemment par l'examen de schistes cristallins et de granites, provenant de l'ouest des États-Unis, que leur quartz contient de l'acide carbonique liquide, qui se montre même avec une fréquence inattendue. On conçoit que cet acide carbonique ait contribué à la formation originaire de la chaux carbonatée dans les roches cristallines.

En outre M. F. Zirkel (2) a étudié au microscope une série de sables et de cendres volcaniques. Leur composition est celle des

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1872, 16.

laves, mais il y a trouvé une proportion plus grande de substance vitreuse, plus de pores et plus d'enclaves dans les cristaux, ce qui peut être attribué à un refroidissement plus rapide de la matière fondue.

— M. Guyerdet (1) a décrit les caractères que diverses roches présentent sous le microscope ; il a examiné notamment des laves, des trachytes, des roches volcaniques vitreuses, des phonolithes, des mélaphyres, ainsi que des porphyres, des ophites, des lherzolithes, des serpentines ; il a examiné également des porphyres, des eurites et des amphibolites provenant des environs de Roanne.

— M. Clifton-Ward (2) a étudié au microscope la texture de diverses roches éruptives anciennes et modernes. L'auteur n'hésite pas à donner aux trapps du pays de Galles, de même qu'à ceux du Cumberland, le nom de *laves* et de *cendres*. Dans les laves d'Arenig et du Snowdon, il reconnaît une pâte laiteuse avec particules disséminées de chlorite et quelques cristaux, entiers ou fragmentaires, d'orthose et d'anorthose. Les cendres ne se distinguent généralement pas du *felstone* proprement dit.

Les anciennes laves du Cumberland paraissent à l'auteur occuper une place intermédiaire entre les laves basaltiques et les laves trachytiques : il leur appliquerait volontiers le nom de *felsidolérites*. Dans son opinion, les volcans du Cumberland, à l'époque silurienne inférieure, devaient être en grande partie subaériens, et il considère la localité de Keswick comme représentant la cheminée dénudée d'un ancien volcan.

M. Ward admet que les *cendres* ont généralement subi un métamorphisme énergique qui se serait produit surtout au commencement de l'époque dévonienne.

— Enfin M. Michel-Lévy (3) a publié un travail sur la structure microscopique des *roches anciennes acides*, où, après avoir donné des détails très-précis, accompagnés de figures coloriées, sur divers types de roches, il croit pouvoir établir des relations entre l'âge et la structure, et formuler diverses conclusions que nous allons reproduire.

D'abord, suivant M. Michel-Lévy, la série des roches acides est continue, et leur nature n'a pas changé brusquement d'une période à une autre. Cependant l'âge des éruptions lui paraît inti-

(1) *Association pour l'avancement des sciences*. Lille, 1874. — *Bulletin de la Soc. géol.*, 1873, 57.
(2) *Geol. Society*, 4 nov. 1874.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 199.

mement lié à la texture des roches, et il fait remarquer que l'observation confirme bien la grande classification en granites, porphyres, trachytes, comme représentant non-seulement trois types, mais trois âges distincts. C'est ainsi que les granites récents de l'île d'Elbe offrent, dans l'état vitreux et fendillé de leurs éléments, des signes distinctifs qui ne permettent pas de les confondre avec les granites anciens. Le passage de la classe granitique à celle des porphyres se fait par trois états. Dans les granites proprement dits, le quartz et le feldspath sont entièrement séparés et forment des plages distinctes; dans les granulites, le quartz, encore postérieur au feldspath, s'est isolé en grains mal réunis les uns aux autres; enfin, dans les pegmatites, le quartz et le feldspath se sont pris en masse simultanément.

Dans les roches granitiques anciennes, auxquelles ces trois types appartiennent, la structure est visible à l'œil nu. Arrivent ensuite les porphyres granitoïdes, dont le grain est plus fin, puis les porphyres houillers, qui reproduisent en petit les mêmes textures, préparant ainsi l'arrivée des pâtes amorphes, où s'introduisent de nouvelles textures *sphérolithique*, *fluidale* et *vitreuse*. Suivant M. Michel-Lévy, les porphyres houillers ont déjà des traces de pâte amorphe avec pyromérides microscopiques : ceux de l'époque permienne sont globulaires et fluidaux; enfin les porphyres triasiques sont à la fois globulaires, fluidaux et vitreux.

M. Michel-Lévy attribue la structure globulaire à la lutte entre l'état vitreux et la tendance à la cristallisation dans les roches acides à quartz récent.

CLASSIFICATION DES ROCHES.

A l'Université de Berlin, MM. Gustave Rose et Al. Sadebeck ont classé la collection des roches de la manière suivante : I. *Roches massives anciennes;* II. *Roches massives récentes;* III. *Schistes cristallins;* IV. *Sédiments.*

Quant aux *météorites*, qui forment à Berlin une collection spéciale très-riche, elles comprennent deux grands groupes : A Les météorites riches en fer (Eisenmeteoriten); B Les météorites pierreuses.

— D'après M. Ferdinand Zirkel (1) les *roches* se divisent de la manière la plus naturelle, en *non clastiques* et en *clastiques*. Les

(1) *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine*, 1873, [illegible].

premières sont quelquefois nommées cristallines ou originaires ou protogènes et les secondes deuterogènes; mais l'expression de roches non clastiques paraît cependant la plus correcte; car, parmi les roches cristallines, il en est qui ont été métamorphosées, en sorte qu'elles ne sont réellement pas originaires.

Comme l'observe M. Zirkel, les roches *non clastiques* sont tantôt *simples*, tantôt *composées*. Ces dernières peuvent d'ailleurs se grouper, d'après leur structure, en roches massives et en roches schistoïdes.

Les roches *massives* sont presque toujours caractérisés par des feldspaths (orthose. anorthose), ou bien par un minéral qui les remplace (néphéline, amphigène); elles sont très-rarement dépourvues de feldspaths.

I. Roches à base d'orthose :

1) *Avec quartz* ou avec un excès de silice : Granite, Granite porphyrique, Porphyre quartzifère, Liparite, Roches riches en silice qui sont vitreuses ou demi-vitreuses (Obsidienne, Ponce, Perlite, Rétinite).
2) *Sans quartz, avec ou sans anorthose* : Syénite, Porphyre avec orthose sans quartz, Trachyte.
3) *Sans quartz avec néphéline* (ou *amphigène*) : Foyaite, Miascite, Liebénérite, Phonolithe, Roches avec sanidine et amphigène.

II. Roches à base d'anorthose :

1) *Avec amphibole :* Diorite quartzifère, Diorite, Porphyrite, Porphyre amphibolique, Dacite, Andésite amphibolique.
2) *Avec augite :* Diabase, Porphyre augitique, Mélaphyre, Andésite augitique, Basalte feldspathique, Anamésite et Dolérite, Tachylite.
3) *Avec diallage :* Euphotide (Gabbro).
4) *Avec hypersthène :* Hypersthénite.
5) *Avec mica :* Diorite micacée.
6) *Avec péridot* (Serpentine) : Roche truitée (Forellenstein).

III. Roches à base de néphéline :

Néphélinite et Basalte néphélinique.

IV. Roches à base d'amphigène :

Roches avec amphigène et sanidine, Basalte amphigénique.

Les roches massives sans feldspath sont : l'Éclogite, l'Hyalotourmalite (*Turmalinfels*), le Péridotite (*Olivinfels*), l'Eulysite, le Gabbro avec Saussurite.

Quant à la classe des roches *schistoïdes*, elle comprend le Gneiss, le Leptynite, le Micaschiste, ainsi que tous les Schistes qui paraissent homogènes, mais ne le sont pas en réalité et se montrent formés de petits cristaux lorsqu'on les examine au microscope.

ROCHES.

Passons maintenant à la description des différentes espèces de roches en insistant plus particulièrement sur les travaux qui font connaître leur structure microscopique ainsi que leur composition minéralogique et chimique.

Roches carbonées.

Pétrole.

KOUBAN. — Le terrain tertiaire de la province russe du Kouban, en Circassie, renferme des gîtes importants de pétrole. Un puits foré, depuis peu de temps, sur les bords de la rivière Koudako, par le colonel Nowosiltzoff, a amené, vers la profondeur de 90 mètres, la découverte du pétrole qui a jailli avec abondance. D'autres puits ont donné le même résultat, mais à des profondeurs plus grandes. Le pétrole est du reste accompagné de dégagements de gaz, et, de même que dans les puits d'Amérique, son débit va successivement en diminuant.

Le colonel Romanowsky (1) regarde ces gîtes de pétrole du Kouban comme aussi riches que ceux de l'Amérique.

CASPIENNE. — Le pétrole a été étudié par M. le général de Helmersen (2), dans la péninsule Apscheron et sur le bord occidental de la mer Caspienne. Dans la péninsule Apscheron, il imprègne surtout des couches de sable et de grès, appartenant au terrain tertiaire supérieur. Dans le district de Balachana, il s'écoule par un grand nombre de sources qui suintent à la surface du sol. Généralement, le pétrole est accompagné de dégagements d'hydrogène carboné, et aussi de sources salées qui entraînent de l'argile venant de l'intérieur de la terre et forment des salses ou volcans de boue. Par l'action de l'air, le pétrole s'épaissit et donne souvent à la surface ou bien autour des volcans de boue, un bitume noir que les Tartares désignent sous le nom de *Kir*, et qu'ils utilisent soit comme combustible, soit pour leurs constructions.

JAVA. — Des sondages ont amené la découverte d'une source abondante de pétrole actuellement exploitée, et qui se trouve au pied d'un volcan, à Cheribon, dans l'est de Batavia (3).

(1) *Journal des mines de Saint-Pétersbourg*, 1873, I.
(2) *Zeitschr, d. Deuts. geol. Gesellschaft*, XXVI. 257. — *Neues Jahrb.*, 1875, 102.
(3) E. Sauvage: *Rapport sur l'Exposition de géographie.*

Siegburgite.

M. de Lasaulx (1) propose de nommer *Siegburgite* une résine qui a été trouvée par M. Von Huene, dans un grès recouvrant le lignite de Siegburg, sur le Rhin inférieur. Elle a une couleur qui varie du jaune au brun et à l'hyacinthe. En brûlant, elle répand une odeur aromatique. Sa dureté est celle de l'ambre. A la distillation, elle donne une huile jaune verdâtre, mais pas d'acide succinique. Elle ne se dissout pas complétement dans l'alcool, ni dans l'éther. M. de Lasaulx a trouvé pour sa composition :

C	H	O	Somme.
81,37	5,26	13,37	100

Une autre analyse a donné des résultats notablement différents; quoi qu'il en soit, cette résine est riche en carbone et elle contient aussi beaucoup d'oxygène. M. de Lasaulx la rapproche de la *Krantzite* de M. Landolt, de la *Rosthornite* de M. Höfer, du copal trouvé dans l'argile de Londres ainsi que d'une résine analysée par M. Boussingault (2).

La *Siegburgite* forme, dans le sable supérieur au lignite, des concrétions dans lesquelles elle sert de ciment et qui ressemblent à celles du loess. Sa proportion dans ces concrétions peut s'élever à 54 p. 100.

Tourbe.

ARDENNES. — La tourbe de la Bar (Ardennes) est spongieuse et d'un brun plus ou moins foncé; voici quelle est sa composition (3) :

Eau	25
Matières combustibles volatiles	42
Carbone	22
Cendres	11
Somme	100

Les cendres de cette tourbe ont donné dans une attaque par l'acide chlorhydrique :

Argile inattaquée par ClH	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO et alcalis	CaO	SO^3,CaO	CO^2	Somme.
21.20	15,50	9,50	11,15	2,60	18,0	13,25	8,80	100,00

(1) *Neues Jarbuch*, 1875, 132.
(2) *Ann. de Chim. et Phys.*, 1842, 507.
(3) Meugy et Nivoit : *Statistique agronomique de l'arrondissement de Vouziers* (Ardennes), 1873, 182, et *Statistique minéralogique et géologique des Ardennes*, par MM. Sauvage et Buvignier.

Ces cendres, qui contiennent du sulfate et du carbonate de chaux, pourraient être utilisées pour l'agriculture.

SAINT-CHARLES. — Une tourbe de Saint-Charles, près Reims, a été analysée par M. Maridort (1) :

Matières organiques.	77,04
Carbonate de chaux.	13,12
Argile, sable siliceux.	8,54
Silice, alumine, oxyde de fer, magnésie, alcalis.	1,23
Somme.	99,93

Cette tourbe est imbibée de beaucoup d'eau, de laquelle on l'a débarrassée pour l'analyse. Elle repose immédiatement sur la craie blanche, se trouve à 1 mètre de profondeur et présente une épaisseur de $0^m,65$. Sa formation a eu lieu dans un bassin de craie, ce qui explique sa richesse en chaux.

Combustibles.

FRANCE. — M. de Ruolz (2) a continué son étude sur les combustibles minéraux de la France. Bien que faite plus spécialement au point de vue économique et technique, de même que les rapports annuels de M. Amédée Burat au Comité des Houillères, elle renferme un très-grand nombre de données géologiques. Parmi les régions de la France dans lesquelles il serait utile d'encourager les recherches de nouveaux gîtes de houille et surtout d'explorer plus complétement les gîtes déjà connus, M. de Ruolz indique le Finistère, les côtes de la Manche, les bassins du Vigan et de Fréjus ainsi que la Corse. D'après l'exemple donné par l'Angleterre, M. de Ruolz exprime aussi le désir qu'une commission mixte, composée de géologues, d'ingénieurs de l'État et des compagnies houillères, soit chargée d'évaluer, aussi complétement que le permet la connaissance actuelle de notre sous-sol, quelles sont en réalité les richesses houillères de la France.

DONETZ. — Les combustibles du bassin du Donetz ont été examinés par MM. A. Scheurer-Kestner et Ch. Meunier-Dolfus (3). Leur analyse chimique a été faite et de plus leur chaleur de com-

(1) Diancourt : *De l'épuration des eaux d'égout et de leur emploi au profit de l'agriculture*, 1874.
(2) *Question des houilles*, fin du tome II, 1875. — *Revue de géologie*, XI, 26.
(3) Ch. Mène : *Revue hebdomadaire de chimie*, 1874, n° 4.

bustion a été calculée en calories pour le combustible complètement pur.

A Anthracite de Grocherski.
B Houille de Mioucki.
C id. de Galuborshi.

	C	H	O et Az *	Cendres.	Eau.	Somme.	Nombre de calories.	Coke p. 100.	Nature du coke.
A	91,20	1,27	1,88	1,57	4,08	100	8259	91	Mal aggloméré.
B	89,97	4,43	3,98	0,23	1,39	100	8695	80	Très-dur.
C	77,47	4,75	11,48	1,42	4,88	100	8201	60	Bien aggloméré.

* Avec trace de soufre.

MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dolfus observent à ce sujet que la composition élémentaire d'un combustible ne permet pas de se rendre compte de sa valeur industrielle. Voici, en effet, quelle est la composition élémentaire des houilles de Mioucki et de Ronchamp

	C	H	O et Az	Somme.
Ronchamp................	88,38	4,42	7,20	100
Mioucki.................	91,45	4,50	4,05	100

Or, bien que la composition élémentaire de ces deux houilles soit presque la même, la chaleur de combustion est de 9.117 calories pour la houille de Ronchamp et seulement de 8.695 calories pour celle de Mioucki; cependant, on serait tenté de croire que c'est la houille de Mioucki qui doit donner le plus de chaleur. Cette anomalie apparente doit être attribuée à la différence que présente la composition immédiate de ces deux combustibles.

Caucase. — M. Abich et M. Ernest Favre (1) ont étudié une houille qui, à Tkvibouli, présente des couches dont l'épaisseur totale peut atteindre 14 mètres. Cette houille, formée en partie de tiges et de feuilles de cycadées, est dure, maigre, et ne donne que 28 p. 100 de coke; toutefois elle brûle bien et, d'après M. K. de Hauer, elle ressemble à celle du lias de l'Autriche. Les plantes fossiles de cette houille et du grès associés se retrouvent à Stonesfield et dans le Yorkshire, en sorte que ce terrain à combustibles du Caucase doit être rapporté à la série jurassique inférieure.

Sumatra. — Près des sources de la rivière Indragiri (Sumatra), on a découvert des couches de charbon, de bonne qualité, qui ont une puissance de 6 à 7 mètres.

(1) *Recherches géologiques dans la partie centrale du Caucase*, 7.

Des combustibles ont également été découverts à Benkoelen, sur la côte sud-ouest de Sumatra, ainsi que dans l'île de Nias, sur la même côte (1).

DIVERS. — Parmi de nombreux essais de combustibles, exécutés au laboratoire de l'École des mines, sous la direction de M. Moissenet, nous donnerons les suivants :

I Combustible de Gayra (Circassie).
II id. de Canon Mines, à 25 milles de Pueblo Colorado (États-Unis). Remis par M. l'ingénieur des mines Fuchs.
III Houille de Kéridilly (Caucase).
IV id. de Champagnac (Cantal). Couche supérieure.
V id. id. . . . . . Grande couche du mur.
VI id. id. . . . . . Morceaux choisis.
VII id. id. . . . . . Menu sortant.
VIII id. id.

Les échantillons IV, V, VI, VII ont été remis par M. Ledoux, ingénieur de mines.

	MATIÈRES volatiles.	CARBONE fixe.	CENDRES.	SOMME.	NATURE des cendres.	NATURE du coke.
I	33,30	23,00	43,70	100	Argileuses	Non aggloméré.
II	44,00	52,40	3,60	100	Argileuses et siliceuses.	Idem.
III	37,00	48,30	14,70	100	Argileuses et ferrugineuses.	Bien aggloméré.
IV	23,80	65,80	10,40	100	Siliceuses.	Boursouflé.
V	26,40	64,80	8,80	100	Idem.	Idem.
VI	31,20	65,60	3,20	100	Siliceuses, très-légères.	Très-boursouflé.
VII	27,40	63,00	9,60	100	Siliceuses peu ferrugineuses.	Non boursouflé.
VIII	35,00	58,20	6,20	100	Argileuses.	Un peu boursouflé.

La houille de Champagnac (VIII) a donné par la distillation : eau ammoniacale 2,60 ; huiles, etc. 14,40 ; gaz 18,00 ; coke 65,0 ; somme : 100.

Diatomées dans les cendres des combustibles. — L'examen microscopique des cendres de la houille a permis à M. F. Castracane (2) d'y reconnaître des diatomées qui sont essentiellement d'eau douce ; quelques-unes seulement sont marines.

(1) E. Sauvage : *Rapport sur l'Exposition de géographie. — Annales des mines des Indes néerlandaises.*
(2) *Association scientifique de France*, 1875, XVI, 10.

Houille bitumineuse.

PENNSYLVANIE. — M. André S. M' Creath (1) a fait une série d'essais sur les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie. On donne ce nom aux houilles qui dégagent une forte proportion de matières combustibles volatiles et qui brûlent avec une flamme plus ou moins jaune et fumeuse. Du reste, on en distingue deux sortes, celles qui fondent partiellement et qui s'agglutinent, en produisant un coke cohérent (*Coking coals*), et celles pour lesquelles cela n'a pas lieu (*Free-burning coals*).

La houille semi-bitumineuse est celle qui donne des gaz combustibles et un coke, mais dans laquelle il y a moins de 18 p. 100 de matières combustibles volatiles.

M. M' Creath a analysé un grand nombre des houilles de Pensylvanie, qui toutes étaient bitumineuses, et voici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus :

I Houillère Moshannon ; comté Clearfield.
II Mine Snow Shoe; couche moyenne, comté du Centre.
III Mine Anthony; comté Jefferson.
IV Id. Pantall; comté Jefferson.
V Id. Brown; comté Jefferson.
VI Houillère Redbank, *cannel;* comté Armstrong.
VII id. *cannel* inférieur; comté Armstrong.
VIII Mine Fairmount, *Big bed;* comté Clarion.

	EAU.	MATIÈRES volatiles.	CARBONE fixe.	SOUFRE.	CENDRES.	COKE p. 100.	COULEUR des cendres.
I	0,765	20,090	74,779	0,666	3,700	79,145	Grise avec une teinte rouge.
II	0,650	24,560	70,416	0,964	3,410	74,790	Blanc jaunâtre.
III	0,950	35,870	58,218	2,301	2,660	63,180	Rouge.
IV	1,100	31,170	63,544	1,016	3,170	67,730	Brun jaunâtre.
V	1,010	27,790	48,365	3,885	18,950	71,200	Grise.
VI	0,510	30,490	46,194	0,576	22,230	69,000	Idem.
VII	1,650	39,120	52,716	2,634	3,880	59,230	Brune.
VIII	1,700	38,930	56,096	0,604	2,670	59,370	Blanc jaunâtre.

Acide phosphorique dans la houille et dans les cendres.

	HOUILLE p. 100.	CENDRES p. 100.
Mine Eureka, à Houtzdale.	0,01	0,[illegible]
Mine Morrisdale; couche supérieure.	0,05	1,52
Houillère Logan.	0,24	3,[illegible]

(1) *Second geological Survey of Pennsylvania, 1874-1875. — Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg.*

Rapport entre le soufre et le fer dans la houille et dans le coke.

	SOUFRE.	FER.	SOUFRE nécessaire pour former FeS^2 avec le fer.	DIFFÉRENCE.	SOUFRE resté dans le coke.	PROPORTION p. 100 du soufre dans le coke.
Houillère Franklin à Houtzdale.	0,88	0,58	0,66	0,21	0,33	0,41
Mine Mongold, au S.-E. de Troutville.	2,29	1,12	1,28	1,01	0,92	1,36
Mine Powelton, couche inférieure.	2,69	1,49	1,70	0,99	»	»
Mine Masson, à l'ouest de Clearfield.	4,23	3,78	4,32	0,00	3,14	4,07
Mine P. Galusha, au N.-O. de Brockwayville. . .	8,35	3,59	4,10	4,25	4,51	7,16

Diverses remarques sont faites par M. M' Creath, sur les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie. D'abord ces houilles ont le grand avantage de ne contenir qu'une très-faible proportion d'*eau*, car le professeur White a obtenu 8,57 pour les houilles de l'Iowa; le professeur Wormley 4,65 pour celles de l'Ohio; M. R. Chauvenet 3,40 pour celles du Missouri, tandis que pour celles de Pennsylvanie, la moyenne est seulement de 1,03 p. 100.

La proportion des *matières volatiles* et combustibles a varié de 19 à 41 p. 100 dans les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie; quant au *carbone fixe*, il était, en moyenne, de 68,98 p. 100.

La proportion des *cendres* est restée comprise entre 1,52 et 19,17 p. 100. Parmi ces cendres, les meilleures, au point de vue de l'emploi de la houille comme combustible, sont les plus infusibles, c'est-à-dire celles qui ont une couleur blanchâtre et renferment peu de fer, de chaux et de magnésie.

— Dans toutes les houilles bitumineuses de Pennsylvanie, M. M' Creath a trouvé de petites quantités d'*acide phosphorique*. La moyenne obtenue est de 0,032 p. 100; mais à la mine Logan, il y en a jusqu'à 0,237, dose beaucoup trop élevée pour permettre l'emploi de cette houille dans la fabrication de la fonte, qui doit être traitée dans l'appareil Bessemer. Il est utile d'observer que la proportion d'acide phosphorique est beaucoup plus considérable dans les cendres que dans la houille elle-même; pour les cendres de la houille Logan, on voit même qu'elle dépasse 3 p. 100. D'après cela, il est facile de comprendre les bons effets des cendres de houille sur les terres pauvres en acide phosphorique, car elles contribuent à les fertiliser, non-seulement par leur acide phosphorique, mais encore par leurs alcalis et aussi par leur pouvoir absorbant.

— Quant au *soufre*, il a varié de 0,4 à 8,5 p. 100, dans les houilles bitumineuses de Pennsylvanie. Le professeur Wormley a montré, comme on sait, que le soufre ne se trouve pas seulement dans les combustibles à l'état de pyrite de fer et de gypse, mais aussi à l'état de composé organique (1). Pour les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie, M. M'Creath a constaté que le soufre est généralement en grand excès sur la quantité qui est nécessaire pour former de la pyrite de fer. A la mine Galusha, l'excès de soufre s'est même élevé à 3,53 p. 100.

Lorsqu'on transforme la houille en coke, la proportion du soufre qui disparaît avec les matières volatiles paraît varier beaucoup, ainsi que l'avait constaté déjà M. Wormley. Dans les houilles analysées par M. M'Creath, la perte en soufre n'a jamais dépassé les deux tiers de celui qu'elles contenaient originairement. De plus, il semble résulter de nombreuses expériences faites sur les houilles bitumineuses de Pennsylvanie, que quand le soufre est à la fois à l'état de pyrite et sous un autre état, il disparaît toujours en plus grande proportion avec les matières volatiles, que quand il est seulement à l'état de pyrite. Toujours est-il que la chaux ou le carbonate de chaux empêchent le soufre de s'échapper avec les matières volatiles dans la transformation de la houille en coke, et ce fait est très-important pour les fabriques de gaz d'éclairage. En outre, le coke qui est produit dans ces conditions donne une forte odeur d'hydrogène sulfuré, ce qui n'a pas lieu lorsqu'on n'ajoute pas de carbonate de chaux.

Tasmanite, houille blanche.

AUSTRALIE. — M. E. T. Newton (2) a examiné au microscope la structure des schistes combustibles d'Australie, connus sous le nom de *Tasmanite* et de *Houille blanche*. Ce sont des combustibles très-imparfaits ; car le dernier, notamment, ne contient pas moins de 68,47 p. 100 de cendres. En traitant la houille blanche pulvérisée par les acides chlorhydrique et fluorhydrique, et en séparant par décantation un peu de sable blanchâtre, on obtient un résidu formé principalement de petits disques bruns, renfermant 96,63 p. 100 de matière combustible et 3,37 de cendres. Ces disques ne sont autre chose que des spores végétaux, analogues aux *macrospores* ou aux *microspores* de Flemingites qu'on observe dans diverses variétés de houille anglaise.

---

(1) *Revue de géologie*, X, 26 ; XI, 25 ; XII, 26.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 337.

Diamant.

Afrique australe. — M. F. de Hochstetter (1) a donné un catalogue des minéraux qui sont associés au diamant dans l'Afrique australe (2). Il mentionne : la limonite, l'agate, la calcédoine, le jaspe, l'héliotrope, plus rarement l'opale et le grenat. Suivant M. J. Shaw, le diamant serait dans une sorte d'argile grasse, contenant, avec des débris de quartzite et de granite, de la tourmaline, du spinelle, de l'agate et de la pyrite de fer.

D'un autre côté, MM. Maskelyne et Flight (3) ont également examiné la roche diamantifère de l'Afrique australe. Cette roche leur a paru présenter une sorte de bronzite accompagné de silicate magnésien hydraté. Le diamant se trouve le plus souvent, pour ne pas dire exclusivement, au voisinage des dykes de diorite qui traversent la roche hydratée, ou bien on le rencontre au contact de cette roche et des couches horizontales à travers lesquelles elle est intercalée. La conclusion des auteurs est que la source d'où dérive le diamant doit être peu éloignée de son gisement actuel.

Australie. — M. Liversidge (4) a décrit les alluvions diamantifères de Mudgee et de Bengera, en Australie (5). Ces alluvions sont subordonnées à des nappes de basalte : le diamant s'y montre tout près de la surface, associé aux minéraux suivants : tourmaline, zircon, saphir, topaze, grenat, spinelle, quartz, brookite, fer titané, fer oxydulé, or, osmiure d'iridium.

Terres végétales.

Des terres végétales provenant de diverses localités ont été analysées au bureau d'essai de l'École des mines, sous la direction de M. Moissenet :

I Terre provenant du défrichement d'un bois : Asnières près Dijon (Côte-d'Or).
II Terre d'une taupinière, prise dans un pré de la même commune.
III Terre riche en matières organiques, formant le fond de l'étang de l'Hôpital, près de Saint-Avold (ancien département de la Moselle).
IV Terre argileuse, contenant seulement des traces de sable ; rapportée par M. Chaper de Kit Carson, au milieu de la Prairie du Colorado.

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1871, 1129.
(2) *Revue de géologie*, X, 28 ; XI, 27 ; XII, 26.
(3) *Geol. Society*, 10 juin 1874.
(4) Sydney, 1873. — *Geol. Mag.*, 1874, 561.
(5) *Revue de géologie*, X, 29.

	Morceaux de calcaire triés.	Sable.	Argile inattaquée par ClH et silice.	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	ClH	SO^3	PO^5	Perte au feu.	Somme.
I	4,00	8,00	70,00	4,50	traces	1,00	»	»	»	»	12,00	[illegible]
II	2,60	6,40	65,00	9,00	traces	1,60	»	»	»	»	14,60	[illegible]
III	»	72,60		5,00	1,00	0,60	»	»	»	traces	20,60	[illegible]
		SiO^2	Al^2O^3									
IV	»	54,00	20,20	4,00	5,00	2,00	0,40	0,05	traces	traces	13,60	[illegible]

Les terres calcaires des environs de Dijon (I, II), contiennent des débris calcaires, qui en ont été enlevés par triage, avant l'analyse; mais, après ce triage, elles ne renferment plus que des traces de carbonate de chaux. Ce résultat est conforme à ce qui a été observé à différentes reprises pour des terres calcaires des environs de Paris.

La terre d'étang de l'Hôpital (III) s'est déposée dans un bassin hydrographiques qui est constitué par du sable quartzeux provenant de la désagrégation du grès vosgien ; son résidu insoluble doit donc être siliceux et consister essentiellement en quartz réduit en parcelles microscopiques. On peut observer qu'elle contient un peu de chaux, bien que le grès vosgien ne fasse généralement pas effervescence avec l'acide. Son gisement est analogue à celui de la terre de la Canau qui s'est également déposée au fond d'un marais et dans un bassin hydrographique formé par le sable quartzeux des Landes (1).

La terre de la Prairie du Colorado (IV) est très-argileuse et très-pauvre en acide phosphorique ; toutefois elle renferme de la potasse, de la chaux, de la magnésie, de l'oxyde de fer, c'est-à-dire les principales substances minérales qui sont utiles au développement des plantes.

SAINT-CHARLES. — Le sol et le sous-sol des prés marécageux de Saint-Charles, près Reims, ont été analysés par M. Maridort (2), qui leur a trouvé la composition suivante :

I Sol de $0^m,70$ d'épaisseur, contenant 33 p. 100 d'eau.
II Sous-sol de $0^m,40$ d'épaisseur, contenant 34, 50 p. 100 d'eau.

(1) *Revue de géologie*, XI, 31.
(2) Diancourt : *De l'épuration des eaux d'égout et de leur emploi au profit de l'agriculture*, 1874.

	I.	II.
Carbonate de chaux	72,67	76,96
Argile, sable siliceux	14,20	11,72
Silice, alumine, alcalis, oxyde de fer, magnésie	2,70	2,20
Matières organiques	10,51	8,98
	100,08	99,86

Cette terre repose sur la tourbe dont l'analyse a été donnée précédemment; elle est très-riche en carbonate de chaux, parce qu'elle provient d'alluvions qui se sont déposées dans un bassin de craie.

Comme on devait s'y attendre, ses matières organiques diminuent dans la profondeur.

Reims. — M. Maridort a encore fait l'analyse du sol et du sous-sol qui sont superposés au terrain de craie blanche des environs de Reims :

I Sol contenant 14,32 p. 100 d'eau.
II Sous-sol crayeux contenant 11,83 p. 100 d'eau.

	I.	II.
Carbonate de chaux	81,42	93,39
Id. de magnésie	0,30	0,30
Sable siliceux	9,15	1,75
Argile	4,85	3,35
Oxyde de fer	1,60	0,80
Matières organiques	2,72	0,44
Somme	100,04	100,03

En résumé, M. Maridort a constaté que dans les terres arables crayeuses, formées aux dépens de la craie, des environs de Reims, le carbonate de chaux est toujours très-dominant, comme on pouvait le prévoir, et que sa proportion varie de 75 à 95 p. 100. Le sable siliceux y représente de 1 à 15 p. 100, l'argile de 0 à 6 p. 100 au plus; et, comme dans la plupart des terres calcaires, on y trouve très-peu d'humus. Quant à l'azote, son dosage, fait pour un échantillon, a donné 0,16 p. 100.

Les terres appartenant au terrain de transport de la Vesle, qui coule dans la craie, sont d'ailleurs beaucoup moins riches en carbonate de chaux (1).

(1) *Revue de géologie*, XI, 31.

ROUMANIE. — Une *terre noire* provenant d'Agiud, district de Putna, a été analysée par M. Grandeau (1). Un litre de cette terre, bien tassée, arrosée d'eau, puis séchée à l'air, pèse 1k,15; son coefficient d'absorption pour l'eau est 52. Voici quelle est sa composition physique :

Sable fin	63,7	100
Id. très-argileux	15,0	
Argile et matières organiques	21,3	

Sa composition chimique est la suivante, pour 1.000 parties de terre séchée à l'air et attaquée à froid par l'acide chlorhydrique concentré :

Sable, silice, argile. (Résidu insoluble)	SiO^2	Al^2O^3, et Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PO^5	SO^3	CO^2	Cl	Azote organique.	Azote ammoniacal.	Azote nitrique.
819,18	0,17	35,32	7,01	2,69	2,00	1,45	1,05	0,57	0,24	0,17	3,44	[illegible]	[illegible]

Cette terre noire de Roumanie est tout à fait analogue à celle de la Russie, de laquelle nous allons parler et qu'on désigne sous le nom de *Tschernoïsem*.

RUSSIE. — La terre noire ou *Tschernoïsem*, qui occupe un tiers de la Russie d'Europe, s'étend d'une part jusqu'en Allemagne, d'après M. le professeur Orth, et d'autre part jusque sur les pentes septentrionales du Caucase (2). L'analyse a montré que dans les couches supérieures, elle contient environ 10 p. 100 d'humus et de matières organiques sèches, 70 de silice et de silicate et $\frac{1}{2}$ d'acide phosphorique. Cependant sa richesse en matières organiques varie beaucoup; car, à Pultava, elle peut s'élever jusqu'à 17 pour 100; de plus, elle diminue toujours dans les couches inférieures, dans lesquelles elle se réduit à 5 p. 100 (3). M. Ruprecht, qui s'est occupé de la formation du *Tschernoïsem*, a fait observer qu'on n'y trouve pas de coquilles marines ou d'eau douce, mais seulement une grande abondance de phytolithaires. Cette terre provient donc d'une végétation, comme celle de la *terre des herbes*, qui se continuant, pendant une très-longue période, a donné lieu à une grande accumulation d'humus et aussi de silice provenant de graminées;

(1) Obédénare : *La Roumanie économique*, p. 13.
(2) E. Favre : *Rec. géol. dans la partie centrale de la chaîne du Caucase*,
(3) Voir aussi Grandeau : *Revue de géologie*, XI, 28 et 29.

à mesure que l'épaisseur de la terre augmentait, la végétation devait être plus active, ce qui explique pourquoi l'humus devient lui-même de plus en plus abondant dans les couches supérieures.

M. Ruprecht constate que le *Tschernoïsem* s'est formé sur les plateaux et sur les collines, mais qu'il manque le long des cours d'eau. Il manque surtout dans les steppes et sur les sables mouvants qui ne sont pas propres à la végétation herbacée. En outre, le *Tschernoïsem* est limité vers le nord par la mer qui couvrait le nord de la Russie à l'époque quaternaire, car on n'y trouve jamais des blocs erratiques apportés par les glaces flottantes. D'un autre côté, il est limité vers le Sud par les anciens rivages de la mer Caspienne et d'après M. Barbot de Marny, il peut même très bien servir à les repérer.

Roches diverses.

Eaux.

Les analyses des eaux étant extrêmement nombreuses, nous mentionnerons surtout celles qui offrent le plus d'intérêt au point de vue géologique, renvoyant pour les autres au *Jahresbericht der Chemie*, publié par MM. Alexandre Naumann, Nies et leurs collaborateurs.

Eaux douces.

CHATEAUDUN. — M. L. Durand-Claye a analysé les eaux des puits de la ville de Châteaudun (Eure-et-Loir); un litre de l'une de ces eaux étant évaporé à sec a donné un résidu qui avait la composition suivante :

SO^3	Cl	SiO^2	Fe^2O^3 Al^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	CO^2 etc.	Résidu total.
0,012	0,022	0,005	0,002	0,104	0,004	0,013	0,166	gr. 0,323

Ces eaux s'infiltrent dans la craie; elles reçoivent des matières organiques qui proviennent de la ville elle-même et qui tendent à les rendre impures.

CANTENAC. — L'eau d'un puits artésien, foré dans le terrain tertiaire, à la profondeur de 108 mètres, au château d'Issan, commune de Cantenac (Gironde), a été analysée par M. L. Durand-Claye.

Un litre de cette eau contenait :

SiO^2	Al^2O^3 Fe^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	SO^3	Cl	CO^2	Somme.
0g,012	0g,004	0g,076	0g,009	0g,093	0g,055	0g,025	0g,096	0g,370

Eaux minérales.

HAMMAM MESCHOUTIN. — Les eaux thermales d'Hammam Meschoutin dans la province de Contantine, qui étaient déjà utilisées par les Romains, ont été analysées par M. Braun (1).

NaCl	MgCl	KCl	CaCl	SO^3, CaO	SO^3,MgO	SO^3,Na0
0,41560	0,07864	0,01539	0,01085	0,38086	[illegible]	[illegible]

CO^2, CaO	CO^2, MgO	CO^2, StO	As	SiO^2	Matières organiques.	Somme *
0,25722	0,04235	0,00150	0,00050	0,07000	[illegible]	[illegible]

* Traces de fluor et d'oxyde de fer.

Les résultats, exprimés en grammes, sont rapportés à 1 litre d'eau.

Le gaz dégagé de la source se compose de 97,0 p. 100 d'acide carbonique, 0,5 d'hydrogène sulfuré et 2,5 d'azote.

Ces eaux sortent d'un tuf calcaire, superposé à un grès tertiaire; leur température est de 97° et leur débit de 6.000 litres par minute.

BALTA-ALBA. — Une eau minérale salée forme le lac Balta-Alba, dans le district de Romaic-Sarat, en Roumanie. D'après MM. Caillat, Davila et Bernath, cette eau présente une densité moyenne de 1,02. Elle a une saveur salée, alcaline, et elle contient par litre 15 grammes de sels qui consistent surtout en chlorure de sodium, carbonate et sulfate de soude; on y trouve en outre un peu de carbonate de chaux, ainsi que des traces de sels de fer et de magnésie.

Près des bords, l'eau devient blanchâtre et répand une odeur d'hydrogène sulfuré, ce qui est attribué à la décomposition des sulfates par les excréments d'oiseaux aquatiques. La boue des bords du lac, qui est brun verdâtre, répand la même odeur et, en se desséchant, se couvre d'efflorescences blanchâtres; il s'y développe d'ailleurs la salsola et la salicorne, c'est-à-dire les plantes qui caractérisent les terrains très-salés.

SARATOGA. — MM. Chandler et F. A. Cairns (3) ont donné la composition d'une eau minérale artésienne de Saratoga (New-York). Elle provient d'un sondage de 89 mètres de profondeur et les résultats de l'analyse, exprimés en grammes, sont pour 10 litres:

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1872, 1188.
(2) Obédénare : *la Roumanie économique en* 1875.
(3) *Jahresbericht der Chemie*, 1872, 1188.

NaCl	KCl	NaBr	NaI	CO^2,LiO	CO^2, NaO	CO^2, MgO	CO^2, CaO	CO^2, SiO	CO^2, BaO	CO^2, FeO	SO^3, KO	PO^5, NaO	Al^2O^3	SiO^3	Somme.
120,45	6,94	0,61	0,04	1,07	3,02	33,27	38,95	0,01	0,36	0,11	0,04	traces	0,08	0,12	2055,07

On a trouvé, en outre, 2.0149 centimètres cubes d'acide carbonique gazeux, des traces de fluor et d'acide borique, ainsi que des matières organiques.

Influence des terrains sur la composition des eaux. — La composition chimique des eaux dépend surtout de ia nature minéralogique des terrains qu'elles arrosent, ou à travers lesquels elles s'infiltrent (1). Différentes analyses d'eaux, qui ont été faites récemment par MM. Truchot et Finot (2), mettent bien ce fait en évidence pour l'Auvergne.

DÉSIGNATION DES EAUX.	SiO^2	CaO	KO	NaO	PC^5
Terrains granitiques.	mg.	mg.	mg.	mg.	mg.
Montaigut	40	traces.	2,7	2,0	traces.
La Celle	9	2,4	2,5	3.6	traces.
[illegible]aviat	29	25,0	1,9	6,4	traces.
[illegible]iandeuil	28,5	13,5	8,2	13,5	traces.
Terrains volcaniques.					
Nohanent	33	traces.	1,4	»	0,873
Lac Pavin	25	traces.	1,2	4,9	1,080
Rivière la Couse, à Issoire	17	traces.	1,5	5,0	0,850

Terrains calcaires.

	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Carbonates alcalins.	$NaCl^2$	NaO, SO^3	NaO,AzO^5	Matières organiques.	Somme.	Gaz dissous. O	Gaz dissous. Az	Gaz dissous. CO^2
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	cc.	cc.	cc.
Clermont	0,171	0,061	0,094	0,227	0,273	0,060	0,078	0,962	5,3	17,2	10,3
[illegible]abière	0,450	0,266	0,075	0,376	0,297	0,040	0,055	1,559	4,1	18,9	15,8

D'après ces analyses, dont les résultats sont rapportés à 1 litre, on voit que les eaux des terrains granitiques sont plus pures que celles des terrains volcaniques, et que toutes deux le sont plus que celles des terrains calcaires. Les eaux granitiques se montrent

(1) *Revue de géologie*, XII, 32.
(2) *Observations sur la composition des terres arables de l'Auvergne.*

assez riches en potasse et en silice, et ne contiennent que des traces d'acide phosphorique; les eaux volcaniques sont assez riches en silice et surtout elles renferment beaucoup d'acide phosphorique; mais elles ont moins de potasse que les précédentes. Quant aux eaux calcaires de Clermont et d'Aubière, elles sont beaucoup plus chargées de matières minérales. Indépendamment de ce qu'elles sont riches en carbonates de chaux et de magnésie, elles contiennent une proportion notable de chlorure de sodium, ainsi que du sulfate de soude, tandis que l'acide phosphorique paraît y faire défaut.

Guano.

Des débris de l'industrie humaine ont été trouvés dans le guano des Iles Chincha, et M. J. T. Hutchinson (1) a signalé, en particulier, des poteries artistiques qui provenaient d'une profondeur de 20 mètres.

Il est donc bien visible que, comme la tourbe, le guano continue à se former de nos jours et qu'il s'en est produit des couches d'une grande épaisseur depuis l'époque actuelle.

Nitrate de soude.

PÉROU. — La composition du nitrate de soude du Pérou a été déterminée par M. R. Wagner (2).

Suivant M. E. Schaer, ce nitrate de soude proviendrait de l'oxydation de plantes marines et peut-être même de matières animales.

NaO, AzO^5	NaO, AzO^3	NaCl	KCl	NaO, SO^3	NaO, IO^5	MgCl	X *	Somme.
94,03	0,31	1,52	0,61	0,92	0,29	0,96	1,96	100,6[illegible]

* Eau avec matières organiques et traces d'acide borique.

Alunite.

MADRIAT. — Un important gisement d'alunite a été reconnu, en 1873, par M. Peccadeau, dans les argiles rouges tertiaires des environs de Madriat, arrondissement d'Issoire (Puy-de-Dôme); voici les caractères qu'il présente, d'après l'étude qu'en a faite M. H. Amiot, ingénieur des mines (3).

Ce gisement est à l'extérieur du vaste amphithéâtre du Lembron, que traverse la Couse d'Ardes, à sa sortie d'une gorge étroite,

(1) *Journ. anthropolog. Inst.*, IV. 1875.
(2) *Berg u. Hütten. Zeitung*, XXIX, 134. — *Jahresberischt der Chemie.* H. Naumann : 1870, 1327.
(3) Lettre adressée à M. Delesse, novembre 1875.

reusée dans le plateau du Cézallier; le fond en est occupé par lu gneiss et du terrain tertiaire, et des crêtes basaltiques forment es bords. Le terrain tertiaire de cette contrée appartient à l'extrémité sud de la Limagne. On y distingue, de bas en haut : 1° un rkose à grains fins, à ciment feldspathique, d'un rouge violacé, euilleté, et ressemblant beaucoup à un gneiss altéré, puissant le 15 mètres environ; 2° une argile d'un beau rouge sang de bœuf, homogène, compacte, très-dure une fois sèche, et épaisse de 30 à 35 mètres; 3° des argiles sableuses, rougeâtres ou jaunâtres contenant plusieurs bancs de grès quartzeux, dur, et passant vers e haut à des marnes avec bancs de calcaire marneux, le tout puissant d'environ 150 mètres; sur ces assises s'étend le basalte.

L'alunite se trouve dans l'argile rouge sang de bœuf. Elle forme des espèces d'ellipsoïdes irréguliers, dont le grand axe est vertical et atteint 2 ou 3 mètres, tandis que le diamètre horizontal ne dépasse guère 1 mètre ou 1m,50. Dans les gîtes explorés jusqu'ici, ces boules se tiennent à un niveau à peu près constant; elles forment, en moyenne, environ la moitié du volume total d'une assise épaisse de 4 à 5 mètres, que l'on a déjà reconnue sur une surface de 4.500 mètres auprès du village de la Brugère et de 2.000 mètres dans le communal de Madriat. Une deuxième assise à alunite, située 5 ou 6 mètres plus bas, et encore peu étudiée, existe aussi à la Brugère. La surface des boules est toujours très-nettement séparée de l'argile rouge, sans aucune transition; quelquefois, de minces filets d'argile existent entre deux boules. L'argile des gîtes d'alunite a elle-même une tendance à se diviser en boules formées d'enveloppes concentriques.

Les caractères extérieurs de l'alunite de Madriat sont assez variables : tantôt elle est blanche, avec une consistance qui va de celle de la farine à celle de la craie; tantôt elle est jaunâtre ou rougeâtre, et plus dure; dans ce cas, elle est impure. Beaucoup de boules sont jaunâtres ou rougeâtres à l'intérieur et blanches vers la surface. L'alunite blanche peut facilement être confondue avec le kaolin; mais elle s'en distingue de suite par sa perte au feu qui est de 35 à 41 pour 100. Voici du reste les analyses faites par M. H. Amiot, au laboratoire de Clermont auxquelles nous joignons une analyse (V) faite au Bureau d'essai sous la direction de M. Moissenet :

I Mine de la Brugère, niveau supérieur; farine blanche.
II Id. niveau inférieur. } Échantillons plus
III Mine de Madriat (qualité au-dessous de la moyenne). } ou moins roses et
IV Mine dite d'Augnat. } assez durs.

V Échantillon remis à l'École des mines, comme venant des environs de Saint-Germain-Lembron.

VI Argile rouge encaissant l'alunite de la mine de la Brugère.

	I	II	III	IV	V	VI
KO	10,6	6,3	7,5	4,0	8,6	1,1
Al^2O^3	36,3	38,1	38,3	39,8	33,0	[illegible]
Fe^2O^3					0,3	
CaO	1,9	2,4	2,1	2,6	1,4 *	2,1
SiO^2	2,3	13,4	11,0	17,3	8,6	45,8
SO^3	34,7	23,9	25,2	18,7	31,3	1,7
HO	14.5	14,6	14,6	16,1	11,6	9,3
	100,3	98,7	98,7	99,5	99,8	[illegible]

* Traces de magnésie.

On peut interpréter ces analyses en admettant que les boules se composent d'un mélange d'argile rouge et d'alunite pure, $KO, SO^3 + 3(Al^2 O^3, SO^3) + 6HO$, avec un excés d'alumine hydratée et un peu de chaux.

M. H. Amiot observe que la formation des boules d'alunite est difficile à expliquer d'une manière complète, mais qu'elle doit avoir été contemporaine du dépôt de l'argile rouge.

Il a constaté d'ailleurs que les terrains tertiaires des environs de Madriat sont coupés par des failles nombreuses; l'une d'elles, dirigée S. 40° E., détermine un rejet de 130 mètres. Cette direction qui est celle du système du mont Serrat (S. 40° 58′ E. à Clermont), est la plus répandue parmi celles qu'affectent ces accidents; c'est aussi la direction de la grande faille, déterminant un rejet de 200 mètres qui limite au S.-O. le bassin houiller de Brassac.

Phosphorite.

PAYS DE GALLES. — M. Hicks (1) a reconnu que les roches cambriennes du Pays de Galles contiennent une proportion de phosphate et de carbonate de chaux bien supérieure à ce qu'on avait supposé jusqu'ici. Contrairement aux résultats antérieurement publiés par Daubeny, l'auteur affirme que ces substances minérales existent en quantité notables dans le groupe de Longmynd, dans le Ménévien et dans le groupe de Tremadoc et que, par suite, la vie animale était déjà largement développée dans les mers à l'époque cambrienne. Quelques couches contiennent jusqu'à 10 p. 100 de phosphate de chaux et plus de 40 p. 100 de carbonate. M. Hicks pense que les principaux producteurs d'acide

(1) *Geol. Society*, 24 mars 1875.

phosphorique dans les mers anciennes étaient les crustacés et spécialement les trilobites; il se base sur ce que, parmi ces animaux, il en est dont les carapaces renferment de 40 à 50 p. 100 de phosphate de chaux.

Conformément aux observations faites déjà par d'autres savants, M. Hicks a constaté que partout où affleuraient les couches riches en phosphate de chaux, le sol végétal était exceptionnellement fertile.

M. Hudleston a exécuté de nombreuses analyses à l'appui du travail de M. Hicks. Il a trouvé 1,62 p. 100 d'acide phosphorique dans un schiste enveloppant un trilobite; 0,11 p. 100 seulement dans la même roche au contact d'un trapp et 17,05 p. 100 dans une portion de trilobite. Une carapace de homard ne donnant que 3,26 p. 100, il est très-probable que le têt calcaire du trilobite a été enrichi par une substitution de phosphate de chaux.

— M. D. C. Davies (1) a décrit une couche de phosphorite qu'on exploite sur une étendue considérable dans la partie septentrionale du Pays de Galles. Ce gisement est situé à la base du calcaire silurien de Bala; la couche mesure de 25 à 40 centimètres et consiste en concrétions, colorées en noir par du graphite; sa richesse moyenne en phosphate de chaux est de 46 p. 100; celle de certaines concrétions peut atteindre 64 p. 100. Le dépôt est superposé à du calcaire cristallin et quelquefois des veines minces d'un calcaire semblable le divisent en deux ou trois couches. Les fossiles rencontrés dans la formation de Bala, au voisinage du gisement, sont transformés en phosphorite et l'auteur attribue à ce minéral une origine purement organique. Telle est aussi la conclusion de M. Hawkins Johnson (2), qui a reconnu dans la phosphorite du calcaire de Bala la structure spongiaire; il y a vu également un grand nombre de corps étrangers, consistant en fragments de mollusques, de crustacés, probablement aussi des coscinopora et des spicules de spongiaires.

Calvados. — MM. de Molon et Guillier (3) ont fait connaître du phosphate de chaux appartenant à l'oolithe inférieure du Calvados. A Saint-Vigor-le-Grand, à la partie supérieure du calcaire noduleux nommé *Malière*, on trouve un banc tuberculeux de phosphate de chaux qui est à peu près compacte et rappelle par

(1) *Geol. Society*, 27 janv. 1875.
(2) *Geol. Society*, 24 mars 1875.
(3) *Rapport sur les gisements de phosphate de chaux de l'oolithe inférieure du Calvados* (Exposition de géographie).

son aspect le *tun* de la craie de Lille. Son épaisseur varie de 0m,15 à 0m,25. Il contient Ammonites Murchisonæ, Am. Sowerbyi, Lima heteromorpha. Au-dessus, vient un poudingue ayant environ 0m,15 d'épaisseur et formant la base de l'oolithe ferrugineuse de Bayeux. Ce poudingue, dans lequel on rencontre le Belemnites giganteus, renferme des nodules qui consistent également en phosphate de chaux; ils ont au plus la grosseur du poing et sont enveloppés par des couches ferrugineuses concentriques. Les deux couches de phosphate de l'oolithe inférieure sont surtout développées aux environs de Bayeux; mais MM. de Molon et Guillier les ont repérées dans toute l'étendue du Calvados, et ont pu tracer leurs affleurements sur une carte à grande échelle. La couche supérieure est la moins constante et manque quelquefois complétement; quant à la couche inférieure, elle ne fait jamais défaut, bien que son épaisseur varie : en résumé, les deux couches réunies n'ont pas moins de 0m,20 d'épaisseur et elles sont susceptibles d'être exploitées avantageusement pour l'agriculture.

MEUSE. — M. Nivoit (1) a fait des recherches sur les phosphates de chaux du département de la Meuse. Ces phosphates s'y rencontrent à trois niveaux différents :

1° Dans les sables verts, où ils sont réunis en une couche dont l'épaisseur varie de 5 à 25 centimètres;

2° Dans le gault, où ils se trouvent disséminés en nodules dans l'argile, sans former des couches exploitables;

3° Dans la gaize, à une quinzaine de mètres au-dessus de la base de la formation; ils constituent une couche variable entre 5 et 30 centimètres; quelquefois les nodules s'y réduisent à une pellicule mince autour d'un noyau de gaize blanche.

Cette couche de la gaize n'est exploitée que depuis peu de temps. Sa teneur moyenne en acide phosphorique se maintient aux environs de 25 p. 100, tandis que celle des nodules des sables verts n'est guère que de 17 p. 100.

M. Nivoit constate que les caractères des nodules attestent une formation contemporaine de celle de la roche encaissante. Quant à l'origine du phosphate de chaux servant de matière agglutinante, elle lui semble pouvoir être attribuée aussi bien à des sources minérales qu'à des accumulations de débris d'animaux.

---

(1) *Notice sur le gisement et l'exploitation des phosphates dans la Meuse.* — Bar-le-Duc, 1874.

TARN-ET-GARONNE. — M. Rey-Lescure (1) a publié une étude sur les dépôts de phosphorite du Tarn-et-Garonne.

Les phénomènes geysériens lui paraissent avoir amené dans cette région des eaux chargées de phosphate de chaux, qui ont déposé cette substance dans de véritables filons, en rapport avec les failles orientées à travers les calcaires du corallien et de l'oxfordien. Ces éruptions ont pu commencer à la fin de l'époque crétacée; mais elles ont eu leur maximum d'intensité pendant l'éocène moyen et l'éocène supérieur, lors des émissions sidérolithiques. Elles ont déversé sur les plateaux jurassiques les phosphates, les oxydes de fer et de manganèse, en même temps que des sables et des cailloux quartzeux, ainsi que des argiles jaunes et rouges; plus tard, ces dépôts ont été érodés et les matériaux provenant de leur remaniement ont été entraînés dans des dépressions par des courants fluvio-lacustres. Enfin les épanchements de phosphates étaient accompagnés, par exemple à Varen dans la vallée de l'Aveyron, d'émissions geysériennes de gypse.

M. Rey-Lescure fait observer qu'aucune carrière n'a encore été abandonnée comme étant fermée en profondeur et offrant la forme d'une poche.

Ces dépôts de phosphates du S.-O. de la France contiennent du reste une faune nouvelle de vertébrés dont l'étude a été faite en partie par M. Filhol.

DIVERS. — Des phosphates de chaux provenant de différentes localités ont encore été essayés au Bureau d'essai de l'École des mines, sous la direction de M. Moissenet:

---

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 398.

DÉSIGNATION DES LOCALITÉS.	3CaO, PO⁵	SO³	PYRITE de fer.	OBSERVATIONS.
Wissant (Pas-de-Calais)	39,30	0,93	9,96	Ces phosphates contiennent du calcaire et un peu d'argile.
Locquinghen id.	34,56	»	»	
Frunenberg id.	33,75	0,61	2,10	
Lottinghem, canton de Desvres, arrondissement de Boulogne (Pas-de-Calais)	43 à 52	»	»	
Chaudefontaine, arrondissement de Sainte-Ménehould (Marne)	36,67	»	»	
Béziers (Hérault)	37,29	»	»	
Frontignan (Hérault)	20 à 59	»	»	
Caylus (Tarn-et-Garonne)	86,72	»	»	Phosphate, blanc mat.
Id. id.	81,98	»	»	Phosphate blanc et jaune, concrétionné.
Villeneuve, arrondissement de Villefranche de Rouergue (Aveyron)	72,81	»	»	Phosphate jaunâtre avec parties blanches et rouges.
La Major, province de Caceres (Espagne)	55,89	»	»	Phosphate brun.
La Major, province de Caceres (Espagne)	81,82	»	»	Id. rougeâtre.
Corina, province de Cordoue (Espagne)	74,00	»	»	Id rosé.
Margarita, province de Caceres, Estramadure (Espagne)	68,47	»	»	Id. blanc verdâtre, compacte.

Le phosphate de Villeneuve (Aveyron) est remarquable par la présence d'une notable proportion d'iode qui s'y trouve à la dose de 1^{g},62 pour 100 kilog. de phosphate.

Roches calcaires.

Calcaire tuffacé.

FONTENAILLES. — Un tuf calcaire, déposé par la fontaine incrustante de Fontenailles, près d'Arromanches sur les côtes du Calvados, à 10 kilomètres à l'Est de Port-en-Bessin, a donné à M. Durand-Claye les résultats suivants :

CaO	MgO	Al^2O^3, Fe^2O^3	CO^2 et Perte au feu.	Résidu insoluble.	Somme.
51,50	0,15	0,60	43,10	4,65	100

Calcaire lacustre.

COULOMMIERS. — Le calcaire lacustre moyen de Coulommiers (Seine-et-Marne) a été analysé par M. Durand-Claye, au Laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

CaO	MgO	Al^2O^3, Fe^2O^3	Résidu insoluble.	CO^2 et perte au feu.	Somme.
32,80	1,00	2,90	31,60	31,70	100

Craie.

IRLANDE. — La craie du nord-est de l'Irlande, qui est très-dure, a été examinée par M. J. Wright (1) et les fossiles microscopiques de la craie de l'Angleterre y ont été retrouvés. M. Wright les a spécialement observés dans la poudre blanche qui se rencontre à l'intérieur des silex et il y a distingué, indépendamment des coraux et des polyzoaires, un grand nombre de foraminifères, d'ostracodes ainsi que des spicules de spongiaires. Parmi les genres de foraminifères les mieux représentés, M. Wright indique Trochammina, Lituola, Lagena, Nodosaria, Dentalina, Frondicularia, Flabellina, Pleurostomella, Lingulina, Marginulina, Vaginulina, Planularia, Cristellaria, Polymorphina, Globigerina, Pullenia, Textularia, Gaudryina, Virgulina, Verneuilina, Bulimina, Planorbulina, Truncatulina, Pulvinulina, Rotalia.

Calcaire oolithique.

LOT. — Deux calcaires jurassiques du département du Lot ont été analysés par M. Moissenet. Le premier, à cassure un peu esquilleuse, a été pris au mur de la couche de combustible qui s'exploite dans l'oolithe inférieure, à 2 kilomètres à l'ouest de Cajarc. Il a une couleur grise, due à ce qu'il est imprégné par des matières bitumineuses fournies par le combustible qui le recouvre. Le deuxième, appartenant à l'oolithe supérieure, est gris clair et provient du moulin de la Béraudie, sur la rive gauche du Lot, près de Cahors. Ces calcaires contiennent seulement quelques centièmes d'argile.

	CaO	MgO	FeO	Argile.	CO^2 et perte au feu.	Somme.
I	52,00	1,00	0,40	4,00	42,50	99,90
II	52,50	»	0,50	5,50	41,50	100,00

CHARENTE. — Deux calcaires appartenant à l'oolithe jurassique inférieure du département de la Charente et provenant de Chasseneuil (I) ainsi que de Taponnat (II), ont été analysés à l'École des ponts et chaussées :

	CaO	MgO.	Al^2O^3 Fe^2O^3	Résidu argileux insoluble.	PO^5	CO_2 et perte au feu.	Somme.
I	53,90	0,20	0,30	0,30	0,04	45,26	100,00
II	53,97	0,30	0,10	0,73	0,01	44,89	100,00

Ces calcaires jurassiques sont presque purs et mélangés seulement d'une très-faible proportion d'argile ; ils sont exploités pour

(1) *British Association*. Belfast, 1874.

fabriquer de la chaux grasse, qui est avantageusement employée en agriculture et sert spécialement à l'amélioration des terres granitiques. La proportion d'acide phosphorique de ces calcaires jurassiques est du reste bien minime.

Calcaire lithographique.

SOLENHOFEN. — Le calcaire lithographique de Solenhofen, traité par un acide, laisse un résidu insoluble dont la composition a été déterminée par M. Pfaff (1) :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO, MgO	Alcalis.	Somme.
62,21	11,16	20,69	2,15	3,79	100,00

M. F. Pfaff observe que ce calcaire de Solenhofen, de même que la vase actuelle des grandes profondeurs de l'Atlantique, provient en partie d'un dépôt mécanique et non pas seulement d'une sécrétion organique (2).

Remarquons aussi, à ce sujet, qu'un calcaire, même à peu près pur, comme celui de Solenhofen, contient cependant de petites quantités de silice, d'alcalis et de bases qui peuvent par conséquent donner lieu à la formation de micas et de minéraux très variés, lorsqu'il est ensuite soumis au métamorphisme.

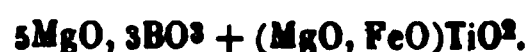
Marne.

ARIÉGE. — Des marnes de Saint-Girons (I) et d'Arsagne (II), qui sont employées en agriculture, ont été analysées au laboratoire de l'École des ponts et chaussées par M. L. Durand-Claye :

	CaO	MgO	Al^2O^3, Fe^2O^3	KO	PhO^5	Résidu insoluble.	Perte au feu.	Somme.
I	29,30	0,33	3,30	0,30	0,05	39,40	27,32	100
II	6,75	0,55	7,67	0,30	0,08	72,05	12,60	100

Calcaire cristallin.

WARWICK. — Un boro-titanate, constituant un minéral nouveau, a été trouvé dans un calcaire cristallin près de Warwick, dans l'État de New-York ; il a reçu de M. S. Shepard le nom de *Warwickite*. Sa densité est 3,351 d'après M. Brush, et M. Lawrence Smith (3), qui a étudié et analysé la *Warwickite*, la représente par la formule :



$$5MgO, 3BO^3 + (MgO, FeO)TiO^2.$$

(1) *Allgemeine Geol. als exacte Wissenschaft*, etc, 84.
(2) *Revue de géologie*, XI, 44.
(3) *Comptes rendus*, 1874, LXXIX, 696.

Pennsylvanie. — M. M' Creath (1) a examiné divers calcaires cristallins et plus ou moins magnésiens de la Pennsylvanie, et voic les résultats de quelques-unes de ses analyses :

I Calcaire bleu foncé et fortement cristallin de Clearfield.
II Calcaire dur, compacte, gris bleuâtre, à cassure conchoïdale, avec cristaux de pyrite ; il a été pris à un mille au Nord de Caledonia.
III Calcaire compacte, gris bleuâtre, d'Alburtis.

	CaO, CO^2	MgO, CO^2	S	P	Résidu insoluble.	Somme.
I	91,88	1,89	0,14	0,03	2,77	96,71
II	66,91	9,84	0,12	0,07	16,13	93,07
III	47,89	39,59	traces	0,02	11,26	98,76

Ces analyses donnent le soufre et le phosphore qu'il est toujours utile de connaître, lorsque des calcaires doivent être employés soit à la fabrication de la chaux, soit dans la métallurgie ou dans l'agricuture.

Dolomie.

Haute-Saône. — Trois dolomies appartenant à l'étage des marnes irisées, recueillies à Gouhenans (I), Vouhenans (II), et Fontaine-lès-Luxeuil III, dans la Haute-Saône, ont été analysées par M. Léon Durand-Claye :

	CaO	MgO	Al^2O^3 Fe^2O^3	Résidu insoluble.	CO^2, HO etc.	Somme.
I	32.95	16,40	1,80	2,55	46,30	100
II	21,80	18,20	1,80	7,70	41,50	100
III	30,60	19,70	1,10	2,30	46,30	100

Marne magnésienne gypseuse.

Lagny. — Une marne gypseuse de la carrière d'albâtre de Lagny, dans Seine-et-Marne, a été analysée sous la direction de M. Moissenet :

CaO	MgO	Fe^2O^3	Silice et argile	CaO, SO^3	Acide carbonique, eau et perte au feu.	Somme.
20,50	21,60	3,60	6,00	10,80	36,60	99,10

Cette marne, qui est formée de calcaire magnésien, mélangé sans doute à une argile magnésienne, est en outre accompagnée de gypse.

Roches siliceuses.

Ménilite.

Coulommiers. — Un silex ménilite, compacte, à éclat résineux et

(1) *Second geological survey of Pennsylvania*, 1874-1875.

ayant une couleur jaune brunâtre, s'observe dans le calcaire lacustre de Coulommiers (Seine-et-Marne), dont l'analyse a été donnée précédemment; voici quelle est sa composition, d'après M. Léon Durand-Claye :

SiO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO	CO^2, HO et perte au feu.	Somm.
75,60	0,60	10,70	0,30	12,80	100,00

Passé dans le four à chaux, ce silex ménilite donne un silicate de chaux, d'un blanc légérement verdâtre, dont la formation doit être attribuée à du carbonate de chaux, qui est très-intimement disséminé dans sa masse et produit une très-longue effervescence lorsqu'on le traite par l'acide chlorhydrique.

Silex.

Le phtanite, ainsi que le silex de la craie et des calcaires marins, qui forment habituellement des rognons discontinus et quelquefois des bancs atteignant l'épaisseur de 1 mètre, peuvent, dans certains gisements, constituer des bancs d'une remarquable puissance En effet, les Expéditions Suédoises dans les mers arctiques ont signalé, au Spitzberg, des bancs de silex qui sont intercalés dans le calcaire carbonifère, et qui dépassent une centaine de mètres.

Silice terreuse.

TOUCY. — Deux échantillons de terres siliçeuses de Toucy, dans le département de l'Yonne, ont été analysés sous la direction de M. Moissenet; I dit *blanc léger*, II dit *blanc lourd :*

	Silice soluble dans la potasse.	Silice insoluble dans la potasse.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Eau.	Somm.
I	6,00	78,60	6,00	1.60	1,60	traces	5,30	99,10
II	4,80	83,00	2,00	3,60	1,00	0,20	4,60	99,20

On voit que ces terres contiennent plusieurs centièmes de silice soluble dans les alcalis et très-peu de chaux.

Sable.

RIEUPEYROUX. — Un sable feldspathique, exploité pour la fabrication du verre à Rieupeyroux, arrondissement de Villefranche (Aveyron), a été analysé au Bureau d'essai de l'École des mines :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	Perte au feu.	Somm.
74,60	18,00	0,25	1,30	0,13	0,93	4,70	[illegible]

EURE. — MM. Potier et Douvillé (1) ont donné la composi-
n de deux échantillons de sable quartzeux du département de
Eure qui sont intimement mélangés de kaolin et renferment une
oportion notable d'alcalis :

I Sable rosâtre de Houlbec. — II Sable verdâtre de Blaru.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	KO	NaO	Perte au feu.	Somme.
I	92,00	2,33	1,00	0,33	1,40	1,13	1,06	99,19
II	92,33	2,67	1,00	0,67	4,34	0,96	1,00	99,97

Ces sables sont intéressants à étudier, car ils forment des bandes
rientées suivant les accidents stratigraphiques; MM. Potier et
ouvillé leur donnent la même origine qu'à l'argile à meulières,
t ils les attribuent aux phénomènes éruptifs qui ont accompagné
émersion du calcaire de Beauce.

Sable glauconieux.

La glauconie des sables du système Diestien de Dumont a été
nalysée par M. Fr. Dewalque (2) :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	PO^5	Somme.
50,42	4,79	19,90	5,96	3,21	2,28	7,87	0,21	5,28	trace	99,92

D'après cette analyse, on a pour formule de la glauconie :



$$(2Al^2O^3, Fe^2O^3)\ 3SiO^2 + 3(FeO, KO, CaO, MgO, NaO)\ SiO^2 + 3HO.$$

Comme l'observe M. F. Dewalque, la potasse de la glauconie
peut expliquer la fertilité des sols qui en contiennent, et l'on sait
d'ailleurs que ce minéral est utilisé comme engrais, surtout lors-
qu'il est associé à de la chaux phosphatée.

Tangue.

MONT SAINT-MICHEL, SAINT-VALERY. — Deux tangues analysées,
ous la direction de M. Moissenet, au Bureau d'essai de l'École
es mines, ont donné les résultats suivants :

I Tangue de la Baie du mont Saint-Michel.
II Id. de Saint-Valery-sur-Somme.

	CaO	MgO	Fe^2O^3	CO^2	NaCl	CaO,SO^3	$3CaO,PO^5$	HO	Sable fin et un peu d'argile.	Somme.
I	25,60	0,60	0,80	20,78	0,28	0,76	0,50	0,82	49,60	99,74
II	38,30	traces	1,00	30,07	0,04	0,52	0,15	0,54	20,30	99,92

(1) *Comptes rendus*, 1872, 1262. — *Bul. Geol.* [2], XXIX, 472.
(2) *Soc. géologique de Belgique*, II, 3.

Alios.

CHANTILLY. — L'*alios* est un grès quartzeux, brun noirâtre, qui est cimenté par des matières organiques; il se forme non-seulement dans les Landes de Gascogne, mais même dans les divers sables du bassin parisien et notamment dans les sables tertiaires moyens des environs d'Ermenonville (1).

Divers échantillons de la forêt de Chantilly, réunis par M. Clair, ont été examinés par M. Delesse et par M. L. Durand-Claye au Laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

L'eau déterminée dans ces échantillons est celle qu'ils perdent à 100°. L'humus a été dosé par une dissolution dans l'ammoniaque, et les autres produits organiques ont été évalués par incinération. L'attaque des cendres par l'acide chlorhydrique a fait connaître les matières solubles et a laissé un résidu de sable quartzeux.

a_1 *Alios* sans consistance, pris à 0m,2 de profondeur.
a_2 Id. friable, pris à 0m,45.
a_3 Id. bien cimenté, pris à 0m,6.
A *Alios* bien cimenté.
S Sable gris noirâtre, se trouvant à 0m,05 au-dessus de l'*alios* précédent.
T Terre végétale sableuse, noirâtre, riche en débris végétaux et constituant la terre dite de bruyère; elle recouvre aussi le sable précédent.

	a_1		a_2		a_3		A		S	
DENSITÉ	2,325		2,4[illegible]9		2,450			2.500	2,574	
1° Produits volatils ou combustibles.										
Eau	0,55		0,50		0,38		0,58		0,07	
Azote	0,04		0,05		0,04		0,04		0,01	
Humus	4,10		3,35		3,80		3,95		0.70	
Autres produits	4,47		0,20		0,20		1,03		0.82	
Total	. . .	9,16	. . .	4,10	. . .	4,42	. . .	5,60	. . .	[illegible]
2° Cendres.										
Sable quartzeux	90,27		94,17		94,30		94,03		98,14	
Peroxyde de fer	0,32		1,57		1,02		0,16		0,04	
Chaux	0,02		0,03		0.02		0,06		0,02	
Magnésie	0,05		0,05		0,04		0,03		0,05	
Potasse soluble	0,14		0,06		0,11		0,11		0,14	
Acide phosphorique	0,04		0,02		0.09		0.01		0.01	
Total	. . .	90,84	. . .	95,90	. . .	95,58	. . .	94,40	. . .	[illegible]
Totaux	. . .	100,00	. . .	100,00	. . .	100,00	. . .	100,00	. . .	[illegible]

Les quatre *alios* des sables moyens de Chantilly (a_1, a_2, a_3, A)

(1) *Revue de géologie*, XI, 48.

présentent des caractères très différents, depuis un sable noir, sans consistance, jusqu'à un grès résistant. Leur densité varie de 2,3 à 2,5 ; elle est moindre que celle du sable qui devient de l'*alios*, lorsqu'il est plus ou moins cimenté par des matières organiques. La proportion de ces dernières se trouve comprise entre 4 et 10 p. 100 ; il est remarquable que l'échantillon (a_1) qui en renferme le plus soit précisément le moins cimenté ; c'est d'ailleurs celui qui se trouve à la profondeur la plus faible. Ces *alios* ont à peu près la même proportion d'humus et ils contiennent environ 0,04 d'azote Dans tous, il y a de l'oxyde de fer, mais très-peu de magnésie et de chaux ainsi que de potasse et d'acide phosphorique.

Les trois derniers échantillons du tableau permettent de comparer facilement l'*alios* A produit sur un point avec le sable S qui le recouvre immédiatement et enfin avec la terre végétale T. On voit que cette terre végétale peut renfermer plus de matières organiques que l'*alios*, qui toutefois en renferme beaucoup plus que le sable intermédiaire. Conformément à la théorie donnée par M. Fayé, l'*alios* paraît donc bien se former par les matières organiques de la surface qui, étant dissoutes dans les eaux d'infiltration, se concentrent, par suite de l'évaporation résultant des chaleurs de l'été, et vont se déposer souterrainement. D'après cette théorie même, on conçoit d'ailleurs qu'il doit se former plus facilement sous un climat chaud que sous un climat froid.

Roches argileuses.

Argile.

MONTASTRUC. — Une argile glaciaire du plateau du Lannemezan, prise à Montastruc (Hautes-Pyrénées), a été envoyée par M. Duponchel au Laboratoire de l'École des ponts et chaussées. Son attaque par l'acide chlorhydrique a donné les résultats suivants :

Résidu insoluble.	Al^2O^3 Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	PhO^5	Perte au feu.	Somme.
80,55	11,10	0,85	0,80	0,11	0,06	6,53	100

Cet essai, fait spécialement au point de vue agricole, montre que l'argile du Lannemezan est pauvre en acide phosphorique et en chaux.

GRANDPRÉ. — MM. Meugy et Nivoit (1) ont analysé une ar-

(1) *Statistique agronomique de l'arrondissemdnt de Vouziers.* 1873 ; 103.

gile marneuse du *gault*, provenant de la ferme de Belle-Joyeuse, près Grandpré.

Eau hygrométrique	4,50
Eau combinée et matières organiques	3,03
Sable quartzeux	27,35
Argile { Silice	31,15
Argile { Alumine	13,50
Oxyde de fer	8,33
Carbonate de chaux	9,14
Id. de magnésie	2,83
Sulfate de chaux	0,17
Somme	100.00

Soumise à la lévigation, elle a donné un résidu de 14,60 p. 100, qui était formé de quartz et de glauconie avec des têts calcaires de fossiles, de la pyrite de fer et du gypse. Cette argile, dite tégulina, sert à la fabrication des tuiles et des poteries.

Argile réfractaire.

PENNSYLVANIE. — La composition de différentes argiles réfractaires de Pennsylvanie, dont plusieurs étaient fortement sableuses, a été déterminée par M. S. A. Ford et par M. M' Creath (1) :

A Argile très-sableuse, dure, compacte, de couleur gris clair; [illegible], comté Jefferson.

B Argile sableuse, avec petites paillettes de mica; *Sandy Ridge* près [illegible], comté du Centre.

C Argile grise, dure, compacte, de la mine Clearfield.

D Argile onctueuse et à structure schisteuse, de la mine Clearfield.

E Argile grise, perlée, à casure conchoïde, de la mine Clearfield.

F Argile dure et compacte; *Gearhart Clay*, près la station Woodland.

H Argile dure, compacte, de couleur bleue très-foncée; provenant de la mine Porter.

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	FeS^2	TiO^2	CaO	MgO	Alcalis	SO^3	HO	Somme
A	78,08	14,44	1,59	»	»	0,06	0,48	1,67	traces	4,16	[illegible]
B	74.95	15,94	1,90	»	»	0,11	0,41	1,76	0,05	[illegible]	[illegible]
C	67,95	20,15	1,96	0,03	»	0,08	0,22	2,05	0,22	6,38	[illegible]
D	57,88	27,01	2,55	0,03	»	0,11	0,47	3.17	»	[illegible]	[illegible]
E	51,36	31,25	1,94	0,75	0,50	0.06	0,26	0,04	0,38	12,81	[illegible]
F	45,23	38,03	1,98	»	»	0,16	0,24	0,83	0,01	13,61	[illegible]
H	42,70	37,60	2,39	»	2,50	0,11	0,27	0,73	»	43,54	[illegible]

On voit que la composition chimique de ces argiles réfractaires présente de très-grandes variations, puisque leur silice saute de 78 à 42 p. 100, leur alumine de 14 à 38 p. 100, et leur eau de [illegible]

(1) *Second geological Survey of Pennsylvania. Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg.* 1875.

12 p. 100; mais, comme on pouvait le prévoir, toutes renferment seulement de petites quantités de fer, d'alcalis et de bases terreuses.

Argile ferrugineuse.

HUNSTANTON.—M. Church (1) a analysé l'argile rouge, contenue dans la *craie rouge* de Hunstanton, afin de voir si elle offrirait quelque analogie de composition avec l'argile rouge qui, suivant M. Wyville Thomson, couvre le fond de l'Océan dans les profondeurs supérieures à 5.000 mètres. L'analyse a donné les résultats suivants :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO	KO	Eau.	Somme.
Après dessiccation à l'air.	52,87	15,65	12,81	2,65	1,33	14,73	100,04
Id. à 100°.	57,33	16,97	13,89	2,87	1,45	7,54	100,05
Après calcination......	62,01	18,36	15,02	3,11	1,56	»	100,06

La présence de la magnésie et de la potasse en quantités notables mérite d'être remarquée, car elle établit un lien entre la craie rouge et la craie glauconieuse; ce n'est pas qu'on doive supposer que la première provienne d'une altération de la seconde; il est plus probable que, suivant la nature des gaz contenus dans l'eau et l'intensité des phénomènes d'oxydation, l'une ou l'autre de ces substances a pu se former à l'aide d'éléments semblables.

Schiste bitumineux.

VESOUL. — Le schiste bitumineux du lias supérieur des environs de Vesoul, qui est exploité comme engrais par M. de Belenet, a été analysé par M. L. Durand-Claye:

CaO	MgO	Al^2O^3 Fe^2O^3	KO	PhO^5	Résidu insoluble.	Perte au feu.	Somme.
24,45	0,85	7,35	2,39	0,19	43,35	24,42	100
20,95	0,55	8,25	2,62	0,26	42,40	24,97	100

Ce schiste, qui est gris, devient brunâtre par altération à l'air; il renferme une proportion de bitume assez grande pour brûler avec flamme, lorsqu'il est chauffé au rouge; il y a une trentaine d'années, on avait même songé à l'utiliser pour la fabrication du gaz de l'éclairage. Comme ce schiste est très-calcaire, il fond à la température du rouge. Son essai, fait spécialement au point de vue agricole et en l'attaquant par l'acide chlorhydrique, montre qu'il contient, indépendamment de la chaux, plus de 2 p. 100 de potasse soluble dans cet acide, ainsi que de l'acide phosphorique. On y a trouvé aussi 8 de carbone, 1 de soufre et 0,038 d'azote.

(1) *Geol. Mag.*, 1875, 331. — *Chemical news*, mai 1875.

Schiste cristallin.

CAP. — Des schistes devenus cristallins vers leur contact avec le granite du cap de Bonne-Espérance, à Lion Rump, ont été étudiés par M. E. Cohen (1).

A Schiste avec grains de quartz, paillettes de mica et parties feldspathiques qui est traversé par un grand nombre de veinules de quartz; il a été analysé par M. H. Lohse.

B Schiste noduleux (*Fruchtschiefer*); il a été analysé par M. Rittershausen.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	75,49	11,54	1,96	2,57	1,77	1,48	1,38	3,85	0,45	100,49
B	68,30	14,78	1,84	4,17	0,99	2,67	4,50		2,01	99,26

Schiste chlorité.

GÉORGIE. — Près de Gainesville, comté Hall, en Géorgie, M. F. A. Genth (2) mentionne un schiste chlorité, blanc verdâtre, dont la composition a été déterminée par le Dr Geo. A. Kœnig.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MgO	Perte au feu.	Somme.
30,33	20,90	4,00	4,11	27,79	12,62	99,75

Ce schiste chlorité est associé à un gîte de corindon, et les schistes qui l'accompagnent contiennent de l'actinote, de l'asbeste ainsi que de la tourmaline.

Roches silicatées non feldspathiques.

Péridotite.

CAROLINE DU NORD. — D'après le révérend C. D. Smith, des gîtes de corindon s'étendent sur une longueur de 250 milles entre la Caroline du Sud, la Géorgie et l'Alabama. Ils renferment du péridot qui peut être hydraté et passer à la Villarsite (Damour). Voici la composition chimique de ces derniers minéraux :

I Péridot provenant de Webster, comté Jackson, Caroline du Nord; analysé par M. F. A. Genth (3).

II Minéral ressemblant à la serpentine, mais ayant une densité de 3,05 et se trouvant associé au péridot, au fer chromé et à l'anthophyllite; c'est sans doute un péridot hydraté : il a été analysé par M. C. U. Shepard (4).

(1) *Neues Jahrbuch*, 1874, 460.

(2) *Corundum, its alterations and associated minerals. — Contributions from the laboratory of the University of Pennsylvania*, nos 1, 6.

(3) *Corundum, its alterations and associated minerals*, nos 1, 4.

(4) *Jahresbericht der Chemie*, 1872, 1161; *American Journal*.

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	NiO	MgO	CaO	Eau.	Fer chromé.	Somme.
I	41,89	traces	7,39	0,35 (*)	49,13	0,06	0,82	0,58	100,22
II	41,49	»	8,62	»	44,00	»	5,69	»	99,80

Traces de cobalt et de manganèse.
Traces de chrôme et de nickel.

M. le professeur Shepard indique, en outre, qu'à la mine Culsagee, le corindon est disséminé dans une roche formée de ripidolithe, et, par conséquent, comme à Gainesville, il se trouve associé à une roche magnésienne.

Roches plutoniques orthosées.

Granite.

Ile d'Elbe. — Le granite à tourmalines de l'île d'Elbe a été étudié par M. G. vom Rath (1), qui y mentionne de l'orthose rose, de l'oligoclase blanc, du quartz, du mica à base de lithine et de la tourmaline. Dans les druses, les minéraux précédents sont recouverts par des zéolithes qui sont la stilbite (Des Cloizeaux), l'Heulandite et une zéolithe nouvelle à laquelle on a donné le nom de *Foresite*, en l'honneur de M. R. Foresi, de Portoferrajo.

D'après M. G. vom Rath, la *Foresite* appartient au système rhombique, et sa forme est voisine de celle de la stilbite ; mais sa densité 2,405 est notablement supérieure, et sa composition est aussi différente, puisqu'elle est représentée par la formule



$$NaO, 3CaO, 8Al^2O^3, 24SiO^2, 24HO.$$

La *Foresite* est le minéral le plus récent des druses, car elle recouvre la tourmaline ainsi que les autres minéraux, et particulièrement la stilbite.

Dans les druses du granite de Fonte del Prete, M. Foresi a trouvé un cristal de Pollux, à éclat légèrement opalin, et dont le poids dépassait 70 grammes.

Cumberland. — M. Clifton-Ward (2) a cherché à déterminer la pression sous laquelle ont pu se former les roches granitiques de la région des Lacs, dans le Cumberland. Tenant compte de l'épaisseur observée dans les dépôts stratifiés supérieurs à l'horizon des schistes de Skiddaw, l'auteur pense que les massifs granitiques de cette région ont dû se consolider à des profondeurs variables entre 5.000 et 10.000 mètres.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1874, 516.
(2) *Geol. Society*, 23 juin 1875.

Or, en examinant au microscope les cavités contenues dans le quartz de ces granites et en étudiant les bulles mobiles de ces cavités, on peut déterminer, jusqu'à un certain point, la pression sous laquelle la roche s'est formée; or cette pression, d'après M. Clifton Ward, serait supérieure à celle qui aurait dû résulter du poids des terrains superposés. L'auteur en conclut que les granites n'ont pas été en relation directe avec des actions volcaniques qui, en donnant une libre issue aux matières épanchées, auraient fait disparaître l'excédant de pression, mais que cet excédant a été employé à soulever et à plisser les couches supérieures.

HARTZ. — D'après M. Lossen (1), le filon granitique de la Bode, dans le Hartz, envoie dans le terrain encaissant des ramifications dont la structure est tout à fait particulière; on n'y voit plus la texture nettement cristalline, à éléments distincts, qui caractérise le granite. La roche prend l'aspect d'un porphyre, et cela d'autant plus qu'elle s'éloigne davantage du massif central. Les salbandes des ramifications sont plus compactes que le centre, et la roche de ces filons est divisée en parallélipipèdes par deux systèmes de fentes, les unes parallèles, les autres perpendiculaires aux salbandes. Des faits analogues ont, du reste, été observés depuis longtemps dans le Cornouailles et dans d'autres régions. L'auteur en conclut que le granite est une roche éruptive, et il émet l'opinion que le massif granitique du Brocken est relié d'une manière continue à celui de Ramberg par une fente dans laquelle l'influence des parois a fait prendre à la roche la texture porphyrique. Toutefois ces résultats s'expliquent facilement sans admettre, comme M. Lossen, que le granite ait fait éruption à l'état de fusion ignée; et, en particulier, l'étude microscopique de cette roche, ainsi que les expériences de M. Tresca sur l'écoulement des solides par la pression, montrent bien que la plasticité du granite résulte plutôt de la pression que de la chaleur (2).

Porphyre.

LAMBAY. — M. Hull (3) a étudié au microscope la structure du porphyre feldspathique de Lambay (Irlande). La pâte est d'un vert foncé et ses cristaux de feldspath seraient de l'orthose d'un vert pâle. Parfois la roche devient vésiculaire et ses cavités sont remplies de calcite rose.

(1) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVI, 856.
(2) *Revue de géologie*, IV, 37.
(3) *Geol. Mag.*, 1874, 449.

Au microscope, la pâte se résout en une matière amorphe, avec de petits cristaux de feldspath, contenant un nombre considérable de grains de fer oxydulé et aussi de la chlorite ou plutôt une terre verte. Les cristaux d'orthose sont abondants et leur dimension peut dépasser 1 centimètre. Il est très-rare qu'ils contiennent du fer oxydulé, d'où l'auteur infère que la cristallisation du feldspath a précédé celle de ce dernier minéral.

Après avoir indiqué que le porphyre de Lambay traverse le terrain silurien et est recouvert par le vieux grès rouge, sans qu'il y ait altération de ce dernier au contact, M. Hull émet l'avis que le calcaire carbonifère superposé au vieux grès rouge a dû fournir l'élément calcaire aux eaux d'infiltration et que ces dernières, après avoir traversé la couche de grès, sont venues déposer la calcite dans ses amandes. Une telle hypothèse est-elle nécessaire, lorsqu'on observe de la calcite, non-seulement dans les amandes, mais même dans la pâte de divers porphyres et de la plupart des mélaphyres, qu'ils soient ou non recouverts par des couches calcaires? Et la calcite n'est-elle pas originaire dans un grand nombre de roches éruptives?

LUGANO. — M. B. Studer (1) qui, dès l'année 1825, a fait avec Léopold de Buch et Mousson les premières recherches sur les porphyres classiques du lac de Lugano, vient de les soumettre à une nouvelle étude. Près de Maroggia, dans le tunnel du Saint-Gotthardt, on retrouve à la fois le porphyre rouge quartzifère (I) et le porphyre noir (II); comme ils ne sont aucunement altérés par l'action directe de l'atmosphère, M. B. Studer a pensé que cette circonstance était particulièrement favorable pour bien définir leurs caractères. Leur examen microscopique a été confié à M. le professeur Fischer, de Fribourg en Brisgau, et leur analyse chimique à M. de Fellenberg :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	MnO	KO	NaO	Perte au feu.	Somme.
I	71,74	12,60	2,45	2,30	1,24	0,84	4,14	3,41	3,50	102,22
II	61,67	16,38	6,31	2,57	3,02	0,30	4,22	3,65	3,31	101,48

Le porphyre noir diffère chimiquement du porphyre rouge, par une proportion plus grande d'alumine, de fer et de magnésie; mais il a moins de silice. On peut remarquer d'ailleurs que la proportion des alcalis reste presque la même dans les deux porphyres.

Des analyses d'autres échantillons de ces roches, qui ont été

(1) *Zeitschr. d. Deutschen geol. Gesellschaft*, 1875.

pris dans des gisements variés, ont encore été faites par M. le professeur Schwarzenbach ainsi que par M. Gargantini Piatti et elles ont donné à peu près les mêmes résultats. Comme l'a déjà observé M. Justus Roth (1), le porphyre noir de Lugano ne doit donc pas être considéré comme un mélaphyre; c'est au contraire une variété d'eurite (*Felsite*). En effet, sa teneur en silice est trop élevée et la potasse y est l'alcali dominant. De plus il n'a pas d'augite et, au microscope, sa pâte paraît renfermer seulement des lamelles d'orthose avec quelques cristaux verts, allongés, se rapportant à l'hornblende. Elle contient en outre du fer oxydulé magnétique et peut-être de la pyrite magnétique.

L'étude géologique du porphyre de Lugano montre du reste que le porphyre noir peut passer insensiblement au rouge; aussi MM. Negri et Spreafico (2) ont-ils représenté ces deux porphyres par la même couleur sur leur carte des environs de Varèse et de Lugano. Ils n'en séparent pas non plus le granite caverneux de Figino, ni même le rétinite noir de Grantola.

— Enfin nous rappellerons, relativement aux porphyres de Lugano, que M. Michel-Lévy (3) en a fait une étude microscopique d'après laquelle il a proposé de les rapporter à trois types distincts.

1° Les *porphyres noirs*, accompagnés de brèches, de tufs et de roches épanchées en nappes, sont du type intermédiaire; c'est-à-dire que, abstraction faite de leurs cristaux en débris, la pâte a une composition qui se rapproche des feldspaths acides, mais ne contient pas de silice en excès; leur texture est fluidale en masse ou par microlites. Ils montrent en outre sous le microscope des débris d'orthose, beaucoup de feldspath anorthose, de l'amphibole, du fer oxydulé, de la chlorite. M. Michel-Lévy les assimile aux porphyres anthracifères de la Loire, du Morvan et des Vosges.

2° Les *porphyres gris et rouges* rappellent entièrement les roches françaises qui percent le terrain anthracifère et dont les galets se trouvent dans les conglomérats et dans les poudingues du terrain houiller supérieur. Ils sont franchement acides et leur pâte offre toujours au microscope un excès de silice. Leurs structures sont celles que M. Michel-Lévy a décrites sous les noms de micro-granulite, micro-pegmatite, micro-pyroméride, avec globules s'éteignant sous les nicols croisés.

(1) *Petrogr. pluton. Gesteine*, 1873.
(2) *Mem. del. Instit. Lombardo*, 1869.
(3) *Réunion de la Soc. géol. à Roanne*, 21. — *Bulletin de la Soc. géol.* (3), I, 195, et III, 199.

3° Enfin les *porphyres bruns* de Cugliate présentent une structure fluidale, très-accentuée et même vitreuse par place. Ils renferment aussi çà et là des sphérolites; mais ces derniers donnent sous les nicols croisés le phénomène de la croix noire.

Saxe. — Des recherches minéralogiques et chimiques ont été faites par M. Baranowski (1) sur le porphyre granitoïde de la Saxe.

Les minéraux macroscopiques, c'est-à-dire ceux qui se distinguent à l'œil nu, sont surtout le quartz bipyramidé et les feldspaths (orthose, anorthose); mais la pâte de ce porphyre est formée de grains isolés et microscopiques de quartz, d'orthose, d'anorthose, d'hornblende, de chlorite ou plutôt de terre verte ainsi que de fer oxydulé et même d'apatite. Dans le quartz, on voit beaucoup d'enclaves, en partie vitreuses, en partie liquides. Des enclaves vitreuses s'observent aussi dans les feldspaths, comme on l'avait reconnu déjà dans les feldspaths qui constituent les trachytes et les porphyres quartzifères.

Deux échantillons du porphyre granitoïde de la Saxe ont été analysés par M. Baranowski :

I De Beucha, aux environs de Leipzig.
II D'Altenberg, dans l'Erzgebirge Saxon.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KaO	NaO	HO	Somme.
I	66,3	15,4	7,0	2,3	1,5	4,4	3,5	0,8	101,2
II	67,1	12,1	8,7	2,5	1,6	5,3	2,4	0,6	100,8

Roches plutoniques anorthosées.

Kersanton.

M. F. Zirkel (2) a fait une étude microscopique bien complète du Kersanton. Conformément à la description qui en a été donnée par M. Delesse (3), il constate que la roche est essentiellement formée d'anorthose avec du mica ferro-magnésien, qu'elle contient de la chaux carbonatée spathique et que l'hornblende y fait défaut. Le microscope lui a permis de reconnaître en outre que le quartz y est très-répandu et que l'apatite y est assez constante et assez abondante pour n'être pas considérée simplement comme un minéral accessoire. Dans le mica du Kersanton, M. Zirkel a ob-

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, 199.
(2) *K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften*. 21 juillet 1875.
(3) *Annales des mines* [4], XIX, 175.

servé des *microlithes* qu'il n'avait pas encore rencontrés dans ce minéral et qu'il a retrouvés depuis dans des schistes cristallins de l'Amérique du Nord. La nature minéralogique de ces *microlithes* est inconnue; mais il n'est pas probable qu'ils appartiennent au mica muscovite. Dans le mica du Kersanton, il y a aussi quelques grains noirs, anguleux, qui ne sont pas assez opaques près des bords pour qu'on puisse les regarder comme du fer oxydulé magnétique.

Au mica est associée une substance vert clair qui, dans les sections, montre avec lui un passage insensible. Elle est en petites écailles ou en fibres radiées et, dans ce dernier cas, forme des groupements globuleux. Cette substance est une espèce de chlorite. M. Zirkel n'a pas observé de carbonate à base de fer dans le Kersanton.

Quant au quartz, il est transparent et ressemble à celui du granite et de la diorite ; il a rempli les interstices laissés par les autres minéraux. Des liquides avec bulles, souvent très-mobiles, y sont enveloppés; ils contiennent, dans certains cas, de petits cubes qui ont jusqu'à 0m,002, et sont vraisemblablement formés de sel marin.

L'apatite est en prismes, incolores et allongés, dont la longueur peut atteindre 1/2 millimètre; elle traverse souvent des cristaux de feldspath ou bien du quartz et d'un autre côté, elle présente des cassures transversales qui ont été remplies par tous les autres minéraux du Kersanton; il est donc visible que l'apatite s'est relativement consolidée de très-bonne heure. Bien que ses cristaux puissent être brisés et comme articulés, elle ne prend jamais l'état poussiéreux qui s'observe dans l'apatite des roches plus jeunes et exemptes de quartz, particulièrement dans l'andésite, dans le trachyte, dans le phonolite. Le Kersanton de Bretagne est d'ailleurs l'une des roches les plus riches en apatite.

M. Zirkel étudie spécialement la manière d'être de la chaux carbonatée dans le Kersanton. Comme le quartz, elle est traversée par des aiguilles d'apatite; comme le quartz encore, elle est très-intimement disséminée dans la roche; elle y a rempli des interstices, mais elle n'a pas la structure d'amandes formées par sécrétion et ne provient pas non plus d'infiltrations calcaires ou de la décomposition des autres minéraux; elle est visiblement contemporaine de ces minéraux, et par suite, originaire dans la roche (1).

(1) Delesse : *Origine des roches éruptives.*

'est également ce qui a eu lieu dans les diorites avec chaux carbonatée et surtout dans l'hemithrène

La chaux carbonatée présentant des grains arrondis ou anguleux dans l'intérieur de lamelles de mica, M. Zirkel observe même qu'elle a dû se former avant ce dernier minéral.

D'un autre côté, la chaux carbonatée se montre aussi en veinules qui traversent le Kersanton, et alors elle est visiblement un produit secondaire.

Enfin, M. Zirkel remarque encore qu'on a donné récemment le nom de *Tonalite* à une diorite quartzifère, qui diffère seulement du Kersanton en ce que l'hornblende y remplace le mica. Parmi les roches éruptives plus jeunes, la *Dacite* n'est pas autre chose qu'une andésite quartzifère, avec hornblende, mais il ne paraît pas lui correspondre une roche micacée qui soit l'analogue du Kersanton.

Diabase.

SPITZBERG. — M. von Drasche (1) a examiné une diabase, dont le gisement sera décrit plus loin avec détail, qui joue un rôle important sur la côte ouest du Spitzberg d'où elle a été rapportée par M. Nordenskjöld. Elle forme des filons ou bien des bancs qui peuvent atteindre 50 mètres de puissance. A Tschermakberg, elle est enclavée dans le trias. Sa structure est prismatique, sa couleur vert noirâtre, et sous le microscope, on y distingue de l'anorthose, de l'augite ainsi que du fer titané. Voici les résultats de son analyse qui a été faite par M. Teclu :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	Perte au feu	Somme.
50,17	14,29	17,87	10,77	5,77	0,96	0,18	0,90	100,91

Roches volcaniques orthosées.

Rhyolithe.

ELBROUS. — La cime la plus élevée du Caucase, l'Elbrous, présente, suivant MM. Abich et E. Favre (2), un cône principal, portant plusieurs cônes secondaires par lesquels des laves se sont épanchées à une époque relativement récente. D'après l'examen microscopique de la roche trachytique de l'Elbrous, qui a été fait par M. Tschermak, elle appartiendrait au trachyte quartzifère, semi-vitreux, et d'origine récente que M. de Richthofen a désigné sous le nom de *Ryolithe* (3). On y distingue une

(1) Tschermak : *Min. Mittheil.* 1874.
(2) *Recherches géologiques sur la partie centrale du Caucase*, 61.
(3) *Revue de géologie*, VI, 88.

pâte noire, semi-vitreuse, avec oligoclase, orthose, augite et un peu de mica ainsi que de fer oxydulé.

De même que nos volcans d'Auvergne, le cône de l'Elbrous repose du reste sur des roches granitiques qui ont été traversées par les laves trachytiques.

Obsidienne.

L'obsidienne du Mexique doit, d'après M. Zirkel (1), la propriété d'être chatoyante à une série de lamelles ovales, disposées parallèlement; comme l'obsidienne, elles sont formées par un verre complétement amorphe, mais qui se montre rempli d'une multitude de corpuscules extrêmement petits.

Cendre ponceuse.

HÉCLA. — Une pluie de cendres volcaniques est tombée, le 29 mars 1875, sur la côte occidentale de Norwége et même en Suède jusqu'aux environs de Stockholm. M. Gümbel (2) en a analysé deux échantillons : (I) de Tryssil, envoyé par M. le professeur Théodore Kjerulf, (II) de Haga recueilli par M. Nordenskjöld. Tous deux consistent en une poussière fine, rude au toucher, ayant une couleur gris clair ou noirâtre. Les grains du premier échantillon mesurent à peu près $0^{mm},2$ de longueur et $0^{mm},01$ de largeur. Sous le microscope, ils présentent une multitude d'esquilles très-petites, aiguës, tranchantes et vitreuses. La plupart sont transparentes comme de l'eau, filamenteuses, et rappellent les esquilles de la ponce d'obsidienne des îles Lipari. Il y a aussi des débris tranchants, formés par un verre brun, complétement amorphe et ressemblant à l'obsidienne. Au moyen du barreau aimanté, M. Gümbel a extrait quelques centièmes de fer oxydulé et, à la lumière polarisée, il a reconnu de l'augite vert bouteille ou brun jaunâtre, du péridot? ainsi que du feldspath. Ces cendres volcaniques qui sont presque entièrement composées d'esquilles vitreuses, sans mélange de cristaux, offrent les caractères de la ponce de l'Hécla, et c'est d'ailleurs ce que confirme leur analyse :

	SiO^2*	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	PO^5	Perte au feu.	Somme.
I	69,50	11,63	10,03		0,31	2,60	0,61	1,52	3,49	0,29	0,28	100,26
II	68,70	11,66	7,50	2,50	0,50	2,80	0,24	4,25		0,35	0,67	98,17

* Avec acide titanique.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1872, 1.
(2) *Das Ausland*, 14 juin 1875.

D'autres savants, notamment MM. Zirkel, Daubrée et Kjerulf, ont également examiné ces cendres volcaniques tombées en Scandinavie. Leur chute a coïncidé avec une éruption de l'Hécla; malgré la distance considérable qui sépare les deux pays, elles ont donc été transportées par les courants supérieurs de l'atmosphère et elles proviennent visiblement de l'Islande.

On sait que différentes théories ont été proposées pour expliquer la formation des cendres volcaniques. D'abord ces cendres peuvent résulter d'un frottement ou d'une pulvérisation de la lave solidifiée, lorsqu'elle est balancée dans la cheminée du cratère par un mouvement d'oscillation ascendant et descendant. Ménard de la Groye les a attribuées à des éruptions de vapeur agissant sur la lave encore fluide. D'après la forme particulièrement aiguë et tranchante et d'après les caractères présentés par les cendres volcaniques tombées en Scandinavie, M. Gümbel est porté à leur attribuer une origine analogue à celle des *larmes bataviques*; car elles ne montrent pas traces d'un frottement ou d'un écrasement; on n'y voit pas non plus des débris comme ceux que devrait donner la lave liquide, si elle avait été solidifiée par de la vapeur d'eau. M. Gümbel pense donc qu'elles proviennent surtout de ce que la lave liquide s'est trouvée tout à coup en contact avec des corps relativement froids, tels que des filets d'eau ou bien simplement l'atmosphère, qui l'ont solidifiée brusquement, en lui faisant subir une trempe. Lorsque l'état d'équilibre instable, qui s'est établi, vient ensuite à être détruit, la lave éclate et se brise en parcelles microscopiques; c'est du reste ce qui a été observé par M. Damour (1) pour une obsidienne dont la composition ne diffère pas beaucoup des cendres volcaniques de l'Islande. De plus, les métallurgistes ont observé que, lorsqu'ils sont refroidis brusquement, les laitiers des hauts fourneaux se réduisent quelquefois en poussière microscopique, quand ils sont soumis à un mouvement rapide, au moment de leur solidification.

Liparite.

WENNEBERG. — La lave du Wenneberg, dans la région naturelle désignée sous le nom de *Ries*, forme un filon qui est enclavé dans le gneiss et qui mesure $2^m,50$ de puissance. Comme elle est dure, on l'emploie pour fabriquer des pavés, et on l'exploite jusqu'à une profondeur assez grande: d'après M. Hermann Frickhinger (2),

(1) *Comptes rendus*, XVIII.
(2) *Wurzburger phys. med. Gesellsch.* VIII, et *Neues Jahrbuch*. 1875, 391 et 429.

elle est alors gris noirâtre et fait feu sous le marteau; on y distingue un peu de mica, du quartz enveloppant des gouttelettes microscopiques, du feldspath, des parties fibreuses, dichroïques, qui pourraient être de l'hornblende et des aiguilles d'apatite. D'un autre côté, M. Gümbel qui, à différentes reprises, a fait l'étude de cette roche, assez difficile à définir, la regarde maintenant comme un basalte anorthosé, ayant une pâte vitreuse. Bien que l'augite et le péridot ne s'y observent pas, M. Gümbel y retrouve ce qu'il pense être les produits de leur décomposition, du fer oxydulé et un peu de chaux carbonatée, tandis qu'au microscope, il n'y voit pas d'hornblende. Quant au quartz, M. Gümbel est porté à croire qu'il proviendrait d'une imprégnation. La densité de cette roche est 2,57 et son analyse a donné à M. Frickhinger :

SiO^2	PO^5	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme
62,68	1,21	12,36	3,66	0,98	4,82	3,84	4,19	2,70	[illegible]	100,23

Remarquons que cette lave du Wenneberg, examinée déjà par MM. Schafhaütl et Rôthe (1), serait bien pauvre en fer et bien riche en silice pour un basalte; en outre, elle contient plus de potasse que de soude. Ses caractères minéralogiques, et même chimiques, la rapprochent donc plutôt des roches trachytiques, et en particulier de la liparite, que des roches basaltiques.

Du reste, la lave du Wenneberg est d'autant plus intéressante à étudier qu'elle provient du volcan auquel sont dus les tufs trachytiques qui s'observent dans le *Ries* et dans les environs (2). Ces tufs, exploités pour les constructions, sont très-puissants et très-étendus ; ils renferment eux-mêmes des bombes volcaniques, ainsi que des fragments de liparite.

Phonolithe.

WOLF ROCK.— M. Allport (3) a examiné le phonolithe de Wolf Rock, près Land's End, dans le Cornouailles. Sa densité est de 2,[illegible] et, dans sa pâte qui est grise, compacte, on distingue de petits cristaux de sanidine. Une analyse a donné les résultats suivants à M. A. Phillips :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	KO	NaO	HO	Somme
56,46	22,29	2,70	0,97	1,47	2,81	11,13	2,05	[illegible]

(1) *Revue de géologie*, IX, 58.
(2) *Revue de géologie*, III, 130.
(3) *Jahresbericht der Chemie* 1872, 1163.

Il y a d'ailleurs dans ce phonolithe des traces de manganèse et d'acide phosphorique; mais on peut s'étonner que l'analyse n'y indique pas de magnésie, car on en trouve toujours dans cette roche et en proportion dosable.

VELAY. — Divers phonolithes du Velay, provenant de localités comprises entre le Mezenc et la Madelaine, ont été étudiés par M. Emmons (1). A l'œil nu, ils présentent une masse compacte avec cristaux de sanidine et d'hornblende; mais, au microscope, toute trace de subtance amorphe ou vitreuse disparaît. Les cristaux de sanidine paraissent alors plus ou moins décomposés sur leurs bords et souvent ils sont traversés par une multitude de fissures. De plus il y a de la néphéline, qui toutefois s'est montrée bien décomposée, dans tous les phonolithes examinés, en sorte que sa forme cristalline pouvait rarement être reconnue. Le nosean (Nosite) est au contraire beaucoup moins décomposé, et, assez souvent, ses petits cristaux ont la forme du dodécaèdre. L'hornblende est abondante et en petites aiguilles qui sont bien caractérisées par leur dichroïsme. L'augite a été observé avec de l'hornblende dans le phonolithe du mont de la Madelaine. Le fer oxydulé est disséminé très-irrégulièrement et il peut même manquer complétement. Le mica ferro-magnésien (Biotite), bien que rencontré dans quelques échantillons, est peu abondant et seulement en petites lamelles. En outre du sphène se montre dans le phonolithe du mont Mianne qui est un bon type de la roche; aussi M. Emmons a-t-il déterminé la composition chimique de ce dernier phonolithe :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu.	Somme.
2,597	58,51	19,66	3,43	1,53	0,31	4,71	10,04	1,00	99,19

WESTERWALD. — M. Emmons décrit également des phonolithes du Westerwald. Celui du Mahlberg, en particulier, présente une masse gris bleuâtre, sans cristaux visibles à l'œil nu; mais au microscope, on y distingue de l'orthose sanidine, de l'hornblende, du fer oxydulé. Le nosean et la néphéline ne s'y voient pas, bien qu'on y remarque une substance brun jaunâtre, regardée par M. Emmons comme un produit résultant de leur décomposition.

EIFEL. — Enfin M. Emmons a encore étudié une roche tra-

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, 197.

chytique, examinée déjà par M. Zirkel et provenant de Selberg, près Quiddelbach, dans l'Eifel. Au miscrocope, la pâte de cette roche montre beaucoup d'anorthose, de l'hornblende, de l'augite, du nosean, du fer oxydulé, quelquefois même de l'apatite. M. Emmons la considère comme un phonolithe trachytique, analogue à ceux de la roche Sanadoire, du mont Dore ainsi que de Salesel en Bohême.

Roches volcaniques anorthosées.

Andésite quartzifère.

TRANSYLVANIE ET HONGRIE. — On doit à M. Doelter (1) une étude sur les andésites quartzifères de la Transylvanie et de la Hongrie; ce sont les roches qui ont été désignées aussi par M. F. von Hauer sous le nom de *Dacites* (2). Leurs éléments essentiels sont : feldspath anorthose, sanidine, quartz, hornblende, biotite, augite, magnétite, apatite ; comme éléments accessoires on rencontre : épidote, chlorite, pinitoïde, pyrite de fer. La néphéline et le tridymite paraissent faire défaut.

Le feldspath anorthose, de beaucoup l'élément le plus important, contient entre 60 et 53 p. 100 de silice. Le quartz se présente généralement en grains assez gros et, suivant M. Doelter, dans quelques cas, il pourrait bien être antérieur à la solidification de la roche en fusion.

L'étendue occupée par les andésites quartzifères est peu considérable. Elle se borne à la chaîne de Vlegyasza et à l'Erzgebirge transylvanien, avec quelques éruptions secondaires dans le pays de Rodna et le Bakonyer Wald.

M. Doelter insiste sur l'étrangeté de certaines associations minérales que présentent ces andésites : ainsi, quartz avec andésine et labrador, quartz avec augite, augite avec sanidine et hornblende, labrador avec sanidine. Il remarque de plus, relativement à ces roches, qu'une même composition minéralogique se concilie avec de très-grandes différences d'allure et de texture.

Dolérite.

GRANDE-BRETAGNE. — M. Allport (3) a examiné la structure microscopique des dolérites du terrain carbonifère de la Grande-Bretagne. Ces roches contiennent de l'anorthose, de l'augite, du péridot, du fer oxydulé, du mica, de l'apatite et une pâte vitreuse.

(1) *Mineralogischen Mittheilungen*. V. Tschermak, 1873.
(2) *Revue de géologie*, VI, 88 et 90; VII, 106 ; IX, 59.
(3) *Geol. Society*, 24 juin 1874.

On les rencontre dans les bassins houillers du centre, en Irlande, à Édimbourg, à Arran. M. Allport observe que leur composition et leur structure sont identiquement celles des dolérites de la fin de l'époque tertiaire et qu'on ne peut signaler entre ces roches, d'âges si éloignés, d'autres différences que celles qui résultent des altérations auxquelles elles ont été ultérieurement soumises.

Basalte.

M. F. Zirkel a constaté que l'haüyne peut entrer comme élément dans la composition de véritables basaltes, en particulier dans ceux du Hamberg et des environs de Cassel. Depuis, M. H. Möhl a également retrouvé ce minéral dans d'autres basaltes (1).

Trapp doléritique.

Connecticut. — Le trapp de la vallée du Connecticut a été étudié par MM Edw. Dana et G. W. Hawes. Sous le microscope, il présente une stucture cristalline. On y distingue de l'augite, du labrador et du fer oxydulé ainsi que du péridot, de l'apatite et de la chlorite; c'est donc une dolérite. Dans les variétés à gros grain, l'augite se montre à l'œil nu ; il est en prismes ressemblant à de l'hornblende, ce qui explique pourquoi la dénomination de diorite a quelquefois été appliquée à cette roche.

Les cellules qui, dans certains cas, peuvent devenir très-nombreuses, contiennent de la chaux carbonatée, du quartz, de la chlorite, plus rarement de la datholite, de l'analcime et accidentellement du bitume.

Un même filon peut offrir la structure compacte ou bien amygdalaire. D'un autre côté, cette dernière structure se montre aussi au milieu du trapp, suivant des zones tantôt parallèles, tantôt concentriques.

L'éruption du trapp a eu lieu par un grand nombre de fentes qui traversent les grès mésozoïques. Quand il est encaissé dans les roches cristallines anciennes, sa cassure présente l'éclat vitreux; vers l'est, sa cassure devient au contraire terreuse et quelquefois il contient jusqu'a 4 pour 100 d'eau.

M. Hawes (2) a soumis à l'analyse plusieurs variétés de ce trapp doléritique de la vallée du Connecticut.

I Trapp doléritique de Jersey City.
II Id. du mont Holyoke.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1872.
(2) *American Journal* [3], IX, 185. — *American Assoc. for the adv. of science*, 1874. — *Neues Jahrbuch*, 1875.

III Trapp doléritique du lac Wintergreen.
IV Id. de West-Rock.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	PO^5	Perte au feu.	Somme.
I	2,96	53,13	13,74	1,08	9,10	0,43	9,47	8,58	2,30	1,03	»	0,90	[illegible]
II	2,97	52,68	14,14	1,95	9,70	0,44	9,38	6,28	2,56	0,87	»	1,60	[illegible]
III	3,02	52,42	14,54	1,25	9,84	0,51	10,59	7,33	2,23	0,49	»	0,55	[illegible]
IV	3,03	51,78	14,20	3,59	8,25	0,44	10,70	7,63	2,14	0,39	0,14	0,63	[illegible]

Ces premières roches sont presque anhydres; mais M. Hawes a également analysé deux variétés qui sont hydratées et chloritiques: l'une A, du lac Saltonstall; l'autre B, du mont South-Durham.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	HO	CO^2	Somme
A	49,28	15,92	1,91	10,20	0,37	7,44	5,99	3,40	0,72	3,90	1,14	[illegible]
B	46,54	14,90	3,54	9,83	0,34	7,94	4,86	2,43	0,60	4,52	4,35	[illegible]

En éliminant l'eau et l'acide carbonique, on trouve une composition à peu près identique avec celle des roches I, II, III et IV. M. Hawes en conclut que ces diverses roches proviennent d'une même nappe et, de plus, que cette nappe est située à une grande profondeur; car, une source voisine de la surface et appartenant à la zone métamorphique de l'écorce terrestre, ne pourrait pas donner une semblable uniformité de composition.

M. Edw. Dana fait observer du reste que, sous le microscope, les trapps triasiques de la Nouvelle-Écosse, du New Jersey, de la Pennsylvanie et de la Caroline du Nord, ne présentent pas de différence notable avec ceux du Connecticut.

Limbourgite.

LIMBOURGITE. — M. H. Rosenbusch (1) a donné le nom de *Limbourgite* à une roche du Limbourg, dans le Kaiserstuhl. Sa densité est environ 2,83. Sa structure est amygdalaire. La *Limbourgite* se compose d'une pâte amorphe qui contient de l'augite (A) et du péridot hyalosidérite (B) avec un peu de fer oxydulé. L'augite a été analysé par M. Pfeiffer, et l'hyalosidérite par M. Rosenbusch, qui a trouvé 3,566 pour sa densité et, pour sa formule, (4/3MgO, 2/3FeO) SiO^2; enfin M. Rosenbusch a déterminé également la composition chimique de la roche elle-même (C) :

	SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	FeO	MnO	MgO	CaO	KO	NaO	HO	Somme
A	47,90	»	8,28	19,16	»	7,01	12,85	0,87	0,67	*	[illegible]
B	36,73	»	»	29,96	»	34,90	»	»	»	»	[illegible]
C	42,78	0,28	8,66	17,96**	0,95	10,06	12,29	0,62	2,31	3,96	[illegible]

* Il y en outre environ 3,8 PO^5 et une trace de nickel.
** Avec un peu de Fe^2O^3.

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1872, 1105, 1106, 1167.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

L'étude géologique des roches métallifères est de la plus haute importance pour le mineur, mais les limites dans lesquelles la *Revue de géologie* est obligée de se renfermer, nous forcent à réduire beaucoup ce qui est relatif à cette partie de la science pour laquelle on devra recourir aux publications spéciales.

Etain.

ZINNWALD.— D'après M. Lodin (1), qui a visité les mines d'étain de l'Erzgebirge et du Cornouailles, le gîte de Zinnwald se compose d'un pointement granitique recouvert par du porphyre. Le granite a été transformé, surtout à la partie supérieure du gîte, en une roche spéciale, pour laquelle on a créé le nom de *greisen*. Elle oscille entre deux types : l'un composé de quartz à éclat gras, avec une petite quantité de mica blanc; l'autre à mica noir, avec une proportion de quartz, relativement plus faible. Ces roches anormales, surtout la variété à mica blanc, ont toujours une structure un peu vacuolaire; lorsqu'on s'enfonce, on voit reparaître le feldspath en petite quantité et fortement décomposé. Le greisen ou le granite de Zinnwald sont coupés par de nombreux filons très-minces, dont l'épaisseur ne dépasse pas 0^m,30 et qui forment un *stockwerk*. Ils se divisent en deux catégories : les uns sont très-couchés, inclinés en général entre 0° et 25° sur l'horizon; les autres ont une inclinaison moyenne de 70 à 75° pouvant osciller entre 50 et 80°. Ces cassures diverses se prolongent dans la masse de porphyre qui recouvre le *greisen*, mais elles s'y réduisent à des fentes sans épaisseur.

Le remplissage des veines stannifères se compose de quartz laiteux, à éclat gras, et de mica à base de lithine : la cassitérite et le wolfram y sont disséminés en cristaux souvent volumineux. La topaze picnite, la molybdénite, la schéélite, le fer oligiste en petites lamelles s'y rencontrent moins fréquemment. De plus, le *greisen* est pénétré d'oxyde d'étain, de part et d'autre des filons, et là seulement : on l'abat souvent sur une certaine épaisseur.

Les veines stannifères sont coupées et rejetées par des veines quartzeuses stériles, dirigées sur 10° E.

---

(1) A. Lodin : *Journal de voyage*, 1874.

L'origine de l'amas de Zinnwald paraît être essentiellement métamorphique, comme l'a indiqué spécialement M. Daubrée. Le *greisen* n'est autre chose que le terme extrême des modifications que le granite peut subir sous l'influence des émanations stannifères : le feldspath a entièrement disparu, laissant des vides qui ont été partiellement remplis par du quartz. La transformation a été complète presque partout à Zinnwald, grâce au grand nombre de cassures qui ont sillonné le granit ; mais les termes intermédiaires, qui manquent en cet endroit, peuvent, au contraire, s'observer fréquemment dans le Cornouailles, aussi bien au contact des grands filons de Dolcoath et de Carn Brea que dans les amas stannifères de Michaels-Mount et de Cligga Head.

INDES NÉERLANDAISES. — Do l'étain a été découvert près de Siak (côte nord-est de Sumatra) dans les alluvions de petits ruisseaux qui descendent de pointements granitiques.

Sur les 15 districts stannifères de l'île de Bangka, 6 ont déjà été décrits par l'Institut des mines des Indes Néerlandaises qui en a fait aussi la carte géologique (1).

TASMANIE. — Comme le Queensland et comme la Nouvelle-Galles du Sud (2), la Tasmanie renferme des gîtes d'étain qui paraissent avoir de l'importance.

M. Charles Gould (3) en signale, notamment, au mont Bischof, éminence conique qui surmonte le plateau basaltique des collines Surrey. Le minerai d'étain y forme des veines disséminées dans une roche porphyrique, contenant de l'orthose et du quartz. Il y a aussi de la pyrite de fer et, de même que dans le Cornouailles, en se décomposant, elle produit un *gossan* ou *chapeau de fer*.

Des filons, remplis par une gangue argileuse, renferment de la galène, de la pyrite de fer et de grandes quantités de fer spathique. Dans les schistes métamorphiques accompagnant le porphyre, M. Gould signale encore des filons qui contiennent de l'antimoine et de la blende.

Fer.

Pyrite de fer.

CHIZEUIL. — M. Jutier, ingénieur en chef des mines, a fait une

(1) *Annales des mines des Indes Néerlandaises.* — E. Sa ge : *Rapport sur l'Exposition internationale de géographie.*
(2) *Revue de géologie*, XI, 78.
(3) *Quart. Journal Geol. Society*, XXXI, 109.

étude du gîte de pyrite de Chizeuil, qui a été découvert récemment et présente beaucoup d'importance.

Aux environs de Bourbon-Lancy (Saône-et-Loire), les deux formations géologiques dominantes sont le granite et des terrains schisteux plus ou moins feldspathisés, comprenant, auprès de Gilly et de Diou, des masses de calcaire remplies de débris de crinoïdes ainsi que de spongiaires, et qui paraissent devoir être rangées dans l'étage carbonifère.

Entre le granite et le terrain de transition court, du Nord au Sud, une bande assez mince d'un terrain mal défini que l'on considère, généralement, comme du gneiss, et qui n'est peut-être qu'un terrain de transition ancien et fortement modifié.

La montagne de Chizeuil, située sur la limite du gneiss et du terrain de transition, forme une butte presque uniquement composée de quartz, de minerai de fer et de terrains fortement altérés contenant ces deux substances; le minerai de fer a été très-activement exploité par le Creusot, qui en a tiré d'énormes quantités. Deux grandes excavations en sont résultées : l'une dite de la Foulquière, ayant environ 120 mètres en direction, 8 mètres de largeur moyenne, et 10 à 12 mètres de profondeur; l'autre, dite du Châtaignier, ayant près de 70 mètres en direction, 20 mètres de large, et 8 à 10 mètres de profondeur.

Il y a une dizaine d'années, les ressources superficielles étant épuisées, on poursuivit le minerai en profondeur; mais on le trouva de qualité médiocre, surtout sulfureux, et on l'abandonna. Il y avait, çà et là, des poches remplies de pyrites de fer. C'est sur ce point, c'est-à-dire près de la Foulquière, qu'on eut l'heureuse idée de rechercher si la pyrite ne deviendrait pas plus abondante en profondeur. Les travaux de reconnaissance, bien que peu développés, ont été couronnés d'un succès complet. A la profondeur de 22 mètres, on a rencontré plusieurs filons de pyrites, se recoupant entre eux; l'un de $1^m,50$ de puissance et plus, est dirigé, sur le Nord 35° Ouest magnétique, et plonge de 70° vers l'Est.

Ce filon est barré par un croiseur de nature pyriteuse, mais assez mince ($0^m,20$) dirigé E.-O. magnétique, qui a conduit à un autre filon de $3^m,50$ de puissance, plongeant également de 70° à l'Est, et dirigé vers le N. 10° E. magnétique.

Une autre recherche, poussée au niveau de 44 mètres, a rencontré ces mêmes filons, et l'un d'eux acquiert une épaisseur de 8 mètres.

On a reconnu que le minerai de fer s'arrêtait à 20 mètres du jour : une bande fort peu épaisse ($0^m,40$ à $0^m,50$) sépare de la pyrite

le minerai de fer. Elle est, en général, formée d'une matière ferrugineuse, non plus compacte, mais bulleuse, caverneuse, et qui semble accuser la transition de la pyrite au minerai de fer.

A 2 kilomètres et demi de distance de la montagne de Chizeuil, au lieu dit Montperroux, on a trouvé, presque à fleur du sol, un autre gisement pyriteux. Le filon dans lequel on était entré se dirigeait Est 30° N. magnétique, avec plongée de 80° au Sud; il a conduit à un croiseur N.-S. magnétique de 3 mètres d'épaisseur, plongeant à l'Est; puis, on a abouti au terrain de transition.

Les analyses faites à Paris par M. Hély d'Oissel, ancien élève de l'École des mines, ont donné les résultats suivants :

1° Minerai de Chizeuil :

			p. 100.
Minerai de choix ou lavé.	1° Minerai sec, de choix. . . .	Soufre.	41,63
	2° Idem.	Soufre.	37,30
	3° Idem.	Soufre.	45,92
		Fer.	40,95
		Cuivre.	0,86
	4° Idem.	Soufre.	44,57
		Arsenic.	0,25
	5° Minerai lavé.	Soufre.	45,46
	6° Idem.	Soufre.	40,53
	7° Idem.	Soufre.	48,30
Minerai tout-venant.	1°.	Soufre.	27,36
		Fer.	24,12
		Cuivre.	0,12
	2°.	Soufre.	35,93
		Arsenic.	0,14
	3°.	Soufre.	32,12

2° Minerai de Montperroux.

1° Minerai tout-venant, gros morceaux.	Soufre.	42,17
2° Minerai tout-venant, menu.	Soufre.	41,60
3° Tout-venant.	Soufre.	40,94
	Cuivre.	2,34

D'un autre côté, ces pyrites ont aussi été analysées par M. Moissenet au Bureau d'essais de l'Ecole des mines :

I Pyrite grenue, pâle, mêlée intimement avec une gangue granitoïde, composée, comme pour les échantillons qui suivent, de quartz, de feldspath et de mica.

II Pyrite jaune pâle, en morceaux un peu friables, présentant une agglomération de grains arrondis, de 2 à 3 millimètres de diamètre.

III Pyrite du filon de Montperroux ; analogue à l'échantillon n° 1, mais un peu moins friable.

	S	Fe	Cu	As	Gangue.	Somme.
	43,77	36,80	0,025	néant	18,60	99,2[illegible]
	51,23	43,19	0,025	traces	5,00	99,645
III	45,64	38,64	0,050	0,025	14,20	94,[illegible]

Les échantillons II et III, essayés pour or et pour argent, n'ont onné que des résultats négatifs.

On voit, d'ailleurs, qu'à Montperroux, le fer est accompagné l'une quantité notable de cuivre; et il est facile de constater la résence de ce dernier métal, dans les tas du minerai de Montperoux qui sont restés quelque temps exposés à l'air.

Malgré leur peu d'étendue, les travaux de Chizeuil, qui sont conduits par M. Morineau, ancien élève de l'École des mines de Paris, ont donc fourni déjà des résultats intéressants au point de vue industriel. comme au point de vue géologique.

Au point de vue industriel, et sans parler de l'importance du gisement lui-même, il est démontré qu'à Chizeuil le minerai de fer n'était que le chapeau de fer (*Eisenhut*, *Gossan*) marquant l'épanouissement à la surface du sol d'un réseau de filons de pyrites de fer qui s'enfoncent en profondeur : ce résultat est de nature à encourager, sinon des recherches immédiates, au moins des études dans ce sens sur les anciens gisements de minerai de fer, aujourd'hui abandonnés, qui se trouvent soit à Saint-Aubin, dans le département de Saône-et-Loire, soit à Saint-Léon, dans le département de l'Allier, lesquels appartiennent au terrain de transition, et paraissent être assez analogues à ceux de Chizeuil.

Au point de vue géologique, ce qui a particulièrement frappé M. Jutier, c'est le rapprochement que l'on peut faire entre le gisement de Chizeuil et celui de Framont dans les Vosges : les conditions générales sont les mêmes et le résultat a été pareil. En effet, dans la mine de Granfontaine, qui a longtemps alimenté les célèbres forges de Framont, on a vu en profondeur la pyrite de fer succéder au peroxyde de fer, et une fabrique d'acide sulfurique a remplacé le haut fourneau; il en a été de même dans la concession voisine de Rothau.

Il serait d'un grand intérêt, comme le remarque M. Jutier, de déterminer l'âge de ces divers filons, de voir s'il n'y a pas de rapprochements plus intimes à faire entre eux, malgré la distance, et de comparer leurs directions. En particulier, M. Jutier observe que la source thermale de Bourbon-Lancy se trouve sur la direction de l'un des filons de Chizeuil, et qu'on a rencontré de la pyrite de fer dans son voisinage.

La localité de Chizeuil est donc bien propre à appeler l'attention des géologues, et cette première étude provoque l'examen de plusieurs questions géologiques très-intéressantes.

Fer oxydulé.

HAYTOR. — M. Le Neve Foster (1) a décrit un gisement d minerai de fer magnétique, situé à Haytor, près de Dartmoor. L minerai forme une couche de 2 mètres d'épaisseur, régulièrem intercalée au milieu de schistes altérés et de grès appartenant l'étage carbonifère. Dans le voisinage du minerai, la roche enc sante se charge fortement d'amphibole hornblende; en quelq points, elle paraît entièrement formée d'actinote Le grenat y e très-abondant. L'affleurement de la couche de fer oxydulé pe être suivi sur plus d'un kilomètre. De même que l'auteur, no pensons que cette couche est un dépôt stratifié métamorphique non pas une variété de trapp éruptif, comme certaines personn l'avaient admis.

COGNE. — M. l'ingénieur des mines Parran (2) a étudié le gîtes de fer oxydulé de Cogne en Piémont. Ces minerais se trouven dans des schistes micacés ou talqueux, appartenant à la zone de roches vertes de M. Gastaldi et au voisinage de calcaires crista lins On y observe la serpentine noble, l'asbeste, la dolomie, l talc et un peu de brucite, Le gîte le plus important, celui de l Licone, forme un amas lenticulaire de 150 mètres sur 25 ou 30 mè tres. Le pyroxène est absent, ou du moins très-rare dans le distri métallifère. Avec M. Gastaldi, M. Parran considère ce giseme comme antésilurien.

NANZENBACH. — Un fer oxydulé magnétique de Nanzenbach, dans le Nassau, a été analysé par M. Th. Petersen (3).

Fe^2O^3	FeO	MnO	NiO	CoO	ZnO	MgO	SiO^2	HO	Somme.
64,56	21,98	0,50				0,71	6,30	5,35	99,40

Ce minerai contient en outre des traces de chrome et de titane. Il forme, d'ailleurs, une couche dans le spilite (*Schalstein*) et, d'après M. Petersen, il résulterait du métamorphisme d'une hématite siliceuse.

TURQUIE. — Un minerai de fer oxydulé magnétique et sableux, de la montagne Vitos en Turquie, a été analysé par M. H. von Drasche, qui a trouvé pour sa composition :

FeO	Fe^2O^3	TiO^2	Somme.
14,37	84,34	2,48	101,19

(1) *Geol Society*, 23 juin 1875.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 357.
(3) *Neues Jahrbuch*, 1872, 593.

Le minerai de Vitos, que l'on purifie au moyen de lavages, provient, d'après les observations de M. F. de Hochstetter (1), de la décomposition d'une syénite, composée d'orthose, d'anorthose, d'hornblende, avec du quartz, du fer oxydulé magnétique, du mica, du sphène, ainsi que de l'apatite en cristaux microscopiques.

PENNSYLVANIE. — Divers minerais de fer oxydulé magnétique de Pennsylvanie ont été analysés par M. M'Creath (2). Dans le comté d'York, ils sont intercalés dans des roches métamorphiques qui paraissent être cambriennes. Bien que siliceux, ils sont de très-bonne qualité et éminemment propres à la fabrication du métal Bessemer et de l'acier; ils ont, en effet, peu de phosphore, et leur soufre peut, pour la plus grande partie, être éliminé par le grillage.

I Magnétite, dure et compacte, contenant beaucoup de pyrite; de la mine Fuller près Dillsburg.

II Roche chloritique d'une couleur verte, contenant des cristaux de magnétite ainsi que de la calcite; du *Help Bank* au nord de Shrewsbury. Au moyen de l'aimant, on en a d'abord enlevé plus de 4 pour 100 de magnétite.

	FeO	Fe^2O^3	FeS^2	Sulfide de cuivre.	Sulfide de cobalt.	Al^2O^3	MnO	CaO	MgO	KO NaO	CO^2
I	18,39	43,41	0,45	traces	0,33	2,77	0,35	7,56	5,00	0,05	1,64
II	10,48	7,32	1,52	0,06	»	7,39	0,48	6,35	5,69	2,19	4,42

	SO^3	PO^5	TiO^3	HO	SiO^2	Somme.	Fe	S	P
I	6,01	0,05	»	2,32	17,86	101,19	44,90	0,24	0,02
II	0,02	0,20	1,26	2,14	50,15	99,97	14,13	0,99	0,09

Hématite.

WHITEHAVEN.— M. Kendall (3) a décrit les gîtes d'hématite de Whitehaven et de Furness. Ces dépôts sont situés dans le calcaire carbonifère, où ils se présentent à tous les niveaux possibles, et généralement dans le voisinage des failles; leur plongement est le même que celui des roches encaissantes, et leur grand axe correspond avec le méridien magnétique.

L'auteur pense que ces dépôts ont été formés par des eaux chargées de bicarbonate de fer et provenant du terrain houiller; l'époque de leur formation serait comprise entre le grès houiller et le permien.

(1) *Jahrbuch d. geol. Reichsanst*, XXII, 335.

(2) *Second geological Survey of Pennsylvania*, 1874-75; *Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg*.

(3) *Geol. Society*, 24 juin 1874.

PENNSYLVANIE. — Quatre hématites de Pennsylvanie, provenant de divers terrains géologiques, ont encore été analysées par M. M' Creath (1). Voici quelle est leur composition :

I Hématite brune, dure et à structure un peu laminaire; du silurien du comté Huntingdon.

II Hématite rouge foncée et légèrement schisteuse ; du silurien de la vallée Ferguson, à l'ouest de Yeagertown.

III Hématite ayant des cavités remplies d'argile ferrugineuse; du terrain dévonien au Nord-Ouest de Lewistown.

IV Limonite brune, compacte, sableuse ; formée à l'époque actuelle dans les marais au Nord-Ouest de M'Veytown et ayant jusqu'à 1 mètre d'épaisseur.

	Fe^2O^3	Al^2O^3	MnO^2	MnO	CaO	MgO	BaO	PO^5	SO^3	HO	Résidu insoluble.	Somme.	Fe	Mn	S
I	72,43	4,21	0,27	»	0,32	0,43	»	0,28	trace	4,62	17,00	99,56	50,70	»	traces
II	42,86	7,82	0,09	»	0,45	0,74	»	0,55	0,12	5,50	41,51	99,64	30,00	»	0,05
III	62,14	3,80	0,65	»	0,72	0,36	»	1,36	0,05	11,39	19,69	100,16	43,50	»	0,02
IV	29,46	5,64	»	14,90	0,28	0,84	0,20	3,04	»	23,27	22,84	99,97	20,63	10,38	0,06

Canga.

BRÉSIL. — Dans plusieurs provinces du Brésil, on désigne sous le nom de *Canga* un conglomérat ferrugineux qui est exploité, soit comme minerai de fer, soit comme minerai d'or, et qui peut aussi contenir du diamant. Les idées les plus disparates ont été émises sur son âge et sur son origine : suivant d'Eschwege, il représente le *Roth todt liegendes*, dans la province de Minas Geraes; d'autres l'ont considéré comme une roche éruptive, à cause d'une structure caverneuse qui, lorsqu'il est altéré par l'eau, le fait, jusqu'à un certain point, ressembler à une lave. Des observations précises dues à M. H. Gorceix (2), directeur de l'École des mineurs d'Ouro Preto, établissent au contraire que c'est un conglomérat moderne, qui provient du remaniement des *Itabirites*.

En effet, les couches de *Canga* s'observent sur les flancs des montagnes formées d'Itabirites. Pendant la saison des pluies, les Itabirites sont ravinées par les eaux et fournissent des débris dont le grain diminue à mesure qu'on s'éloigne de la base de la montagne. Ces débris sont ensuite cimentés par des eaux ferrugineuses et passent alors à l'état de *Canga*.

La Canga participe du reste de la nature des Itabirites desquelles elle provient. Ainsi, elle est tantôt manganésifère, tantôt aurifère

(1) *Second geological Survey of Pennsylvania, Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg*, 1875.

(2) Lettre à M. Delesse; 3 décembre 1875.

st susceptible d'être exploitée, comme près d'Itabira-de-Matto-Dentro, où de l'or se rencontre dans la variété d'itabirite friable, qui est connue sous le nom de *Jacutinga*.

A l'est de la Serre de Caraça, les couches de *Canga* peuvent atteindre 10 mètres ; elles présentent un conglomérat très-dur, qui est presque entièrement composé de fer oligiste, et qui repose directement sur le gneiss et sur les schistes cristallins. Mais, à Fonseca, elles recouvrent des couches de sables avec une argile blanche, qui ont une épaisseur de 22 mètres, et au-dessous desquelles M. Gorceix a trouvé 4 mètres de schistes avec minces couches de lignites. Ces derniers schistes sont très-riches en empreintes végétales parfaitement conservées, et qui appartiennent toutes à la flore actuelle de la région (Schizolobium excelsum, Mimosa calodendron, Miconia lingustroïdes).

Comme le remarque M. Gorceix, il existait vraisemblablement un lac, à Fonseca, dans les eaux duquel tombaient les feuilles des végétaux qui croissaient sur ses bords. Puis, des torrents ont raviné les flancs de la Serre d'Espinhaço, en entraînant au loin des débris d'Itabirite qui, cimentés ensuite, ont passé à l'état de *Canga*. Le lac a, d'ailleurs, été desséché, et les eaux ont pris leur régime actuel.

D'après les observations de M. Gorceix, les *cascalhos* diamantifères, que l'on a quelquefois confondus avec de véritables grès, se sont formés de la même manière.

Fer carbonaté lithoïde.

PENNSYLVANIE. — Deux fers carbonatés lithoïdes de Pennsylvanie, qui étaient durs, compactes, à cassure conchoïde, et d'une couleur grise ont été analysés, le premier par M. M'Creath (1) et le second par M. Forman.

I Fer carbonaté du terrain dévonien au Nord-Ouest de Lewistown. Il contient 38,70 p. 100 de fer métallique, 0,19 de soufre et 0,57 de phosphore.
II Fer carbonaté (*Blackband*), du terrain houiller de Snow Shoe Basin, comté du Centre ; il contient 28,7 p. 100 de fer métallique.

	FeO	Fe^2O^3	FeS^2	Al^2O^3	MnO	CaO	MgO	SiO^2	PO^5	SO^3	CO^2	HO	Matières carbonées.	Résidu insoluble.	Somme.
I	48,86	0,83	0,26	2,24	1,63	4,54	0,5	»	1,31	0,13	32,66	0,37	0,36	6,41	100,16
II	33,17	4,13	0,24	3,35	1,96	3,40	2,02	20,16	0,51	trace	25,95	1,65	2,73	»	99,36

(1) *Second geological Survey of Pennsylvania, Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg*, 1875.

Le minerai de fer carbonaté dévonien s'exploite dans les contrées de Muflin et de Huntingdon et il est de très-bonne qualité; sa teneur moyenne en phosphore est de 0,189 et sa richesse en fer de 36,72 p. 100; par le grillage, cette dernière s'élève d'ailleurs à 45 et même jusqu'à 60.

Quant au minerai de fer carbonaté du terrain houiller de la Pennsylvanie, il n'a pas une teneur en fer qui soit élevée; mais le grillage l'enrichit assez pour que son traitement dans le haut fourneau devienne très-avantageux, d'autant plus qu'il renferme peu de soufre et de phosphore; M. M'Creath pense même que ce minerai est appelé à jouer un rôle de quelque importance dans l'industrie du fer aux États-Unis.

Nickel.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — La présence de nickel dans la Nouvelle-Calédonie a été signalée, depuis plusieurs années, sur un grand nombre de points de l'île, par M. Jules Garnier (1). Comme ce métal atteint actuellement des prix élevés, on s'est mis à le rechercher et à l'extraire activement dans la colonie. Plusieurs centaines de tonnes de minerai de nickel de la Nouvelle-Calédonie sont même attendues en France, et voici l'analyse faite au Bureau d'essais de l'École des mines, d'un des nombreux échantillons qui ont été rapportés par M. J. Garnier.

Gangue et silice	44,00
Magnésie	16,30
Oxyde de nickel	19,00
Alumine et fer	0,60
Eau	20,00
Somme	99,90

Jusqu'ici le nickel n'était point retiré de composés oxydés; aussi, par reconnaissance pour l'auteur de la découverte de ce nouveau minerai, on a donné à ce dernier le nom de *Garnierite*, sur la proposition de M. le professeur Dana des États-Unis, du Révérend W. B. Clarke, géologue de la Nouvelle-Galles du Sud et du professeur Liversidge, de l'Université de Sydney.

La *Garnierite* est d'un beau vert et il est peu de gîtes de serpentines de la Nouvelle-Calédonie qui n'en présentent au moins des traces; parfois, elle forme des enduits à la surface des roches

(1) Extrait d'une lettre de M. J. Garnier à M. Delesse.

magnésiennes ; elle remplit encore les cavités d'un silex caverneux qui accompagne les serpentines : en filons, elle est parfois associée à d'autres métaux, notamment au cuivre. Parmi les gîtes explorés, ceux des environs de Kanala sont maintenant les plus rémunérateurs et M. J. Garnier pense que la Nouvelle-Calédonie est appelée à devenir une des sources les plus importantes de ce métal.

Cuivre et étain.

CORNOUAILLES. — Dans une étude des filons d'étain et de cuivre du Cornouailles, M. J. Arthur Phillipps (1) arrive à la conclusion qu'ils résultent de forces ayant agi postérieurement à la solidification de l'*elvan*, mais dans la même direction générale que celles qui ont déterminé l'éruption de ce porphyre. Les fentes engendrées ont ensuite été remplies par des minéraux déposés par l'action de l'eau ou de vapeurs aqueuses qui, comme l'observe M. Forbes, venaient d'en bas, bien que n'atteignant pas nécessairement une température élevée. Ces dissolutions provenaient-elles de la profondeur ou résultaient-elles du lavage des roches encaissantes? Il est difficile de le dire; mais l'auteur signale les effets produits par le parallélisme de certains dépôts de minerai avec les lignes de plongement des couches et montre que les infiltrations latérales ont dû jouer un grand rôle. Ces dernières infiltrations sont du reste accusées par les *Stockwerks* et par les dépôts de contact qui se sont formés à la jonction de deux roches.

M. J. A. Phillips constate encore que la nature de la roche encaissante a exercé une grande influence sur la composition des filons métallifères.

Nous nous bornerons à rappeler que les filons du Cornouailles ont déjà été l'objet de travaux très-nombreux, et, parmi ceux publiés dans ces derniers temps, nous mentionnerons ceux de MM. Henwood et Moissenet (2).

Cuivre et plomb.

LANGEAC. — De nombreux filons de spath fluor existent dans le chaînon de gneiss qui porte le village de Barlet, le long de la limite orientale du petit bassin houiller de Langeac (Haute-Loire). Ces filons, qui viennent d'être étudiés par M. H. Amiot, sont com-

(1) *Geological Society*, mars 1875.
(2) *Revue de géologie*, XI, 233.

pris dans une zone métallifère dont la direction générale est S. 30° E. et qui traverse la partie occidentale du Puy-de-Dôme et de la Haute-Loire. L'un d'eux peut être suivi sur une longueur de 600 mètres; il est dirigé S. 40° E. et plonge de 70° à 75°, vers l'E. sur une partie de son parcours, vers l'O. sur une autre. Le spath fluor y est compacte, vert ou parfois violet; sa puissance va de $1^m,50$ à 2 mètres et même à 3 mètres. Il est souvent divisé dans le sens de sa direction, par des filets quartzeux, épais de quelques centimètres. Il contient sur une partie de la longueur du filon une veine de quartz blanc, laiteux, variant de $0^m,10$ à $0^m,50$; ce quartz est parsemé de mouches de pyrite de cuivre, quelquefois abondantes. Un second filon parallèle au premier, dont il est distant de 150 mètres environ, contient au milieu du spath fluor une veine de quartz avec mouches et veinules de galène, riche en argent (615 gr. aux 100 kil. de plomb).

Ces deux filons sont l'objet de travaux de recherches à cause des minerais de cuivre et de plomb qu'ils renferment. Ils sont encaissés dans un gneiss, à mica blanc nacré, d'un aspect particulier. Les travaux ouverts dans le terrain houiller, que traverse leur direction prolongée, ne les ont pas rencontrés; cependant, on voit des galets de grès houiller dans le premier filon, au voisinage de la limite; il est donc certain qu'il a y eu au moins réouverture postérieurement à l'époque houillère.

M. H. Amiot indique encore plusieurs autres filons de spath fluor qui ont été découverts aux environs de Barlet; quelques-uns sont orientés S. 40° E.; d'autres se dirigent E. 25° N. Ils ont seulement été l'objet de fouilles superficielles, dans lesquelles on n'a pas rencontré de minerais métalliques.

La direction S. 40° E. se retrouve, d'après M. Amiot, dans de grandes failles qui coupent le terrain tertiaire de la Limagne, près de sa limite S.-O.; elle se rapporterait au système du mont Serrat. La direction E. 25° N. serait celle du système du Sancerrois. L'âge récent de ces deux systèmes de montagnes s'accorderait bien avec la présence de galets houillers dans un des filons.

MEYRUEIS ET FLORAC. — M. Edmond Fuchs (1) a étudié le groupe des filons de plomb et de cuivre, développé aux environs de Meyrueis et de Florac, sur la limite du Gard et de la Lozère, dans des schistes cristallins séparés du granite par une zone de micaschistes. Ces filons, au nombre de 120, se groupent en trois séries principales :

(1) *Mémoire sur les gisements de Meyrueis et de Florac.* — Paris, 1874.

1° Les filons Est-Ouest, puissants de 1m,50 à 2 mètres, qui sont continus et nombreux. Leur remplissage fondamental paraît être un mélange de quartz et de barytine ; la galène riche est arrivée plus tard avec beaucoup de quartz. Elle contient de 100 à 400 grammes d'argent aux 100 kilogrammes de plomb d'œuvre ;

2° Les filons Est-Sud-Est. Dans le Sud du district, ils sont essentiellement quartzeux et contiennent de la pyrite cuivreuse, parfois accompagnée de cuivre gris. Dans le Nord, ces mêmes filons deviennent surtout plombeux et barytiques. L'âge de ces filons semble indiqué par la présence de la pyrite de cuivre dans une assise silicifiée du lias, au Causse Méjéan, près de Florac ;

3° Les filons Nord-Est, qui jouent dans le district en question, comme dans celui de Vialas, le grand rôle minéralisateur, bien qu'ils soient eux-mêmes peu puissants et peu réguliers. Ils sont caractérisés par de la barytine rose, en veinules. La teneur en argent de leur galène atteint et dépasse 700 grammes.

Mercure.

Idria. — Dans le célèbre gîte d'Idria, Autriche-Hongrie, qui est actuellement exploité par M. le Bergrath Lipold, le mercure se rencontre sous deux formes : celle de mercure natif, en fines gouttelettes imprégnant les schistes, et celle de cinabre, imprégnant soit des schistes, soit des conglomérats dolomitiques.

Les couches que l'on rencontre à Idria présentent, d'après M. Lodin (1), de bas en haut, la coupe suivante :

1° Calcaire gris foncé, dur, esquilleux, connu sous le nom de *Liegendkalk*, parce qu'il forme le mur du gîte. Il est peu ou point fossilifère ; néanmoins des plantes fossiles, trouvées récemment, ont permis à l'Institut géologique de Vienne de rattacher ce calcaire au niveau des schistes de Werfen, c'est-à-dire à la base du trias.

2° Couche peu épaisse de grès verdâtre et pyriteux, désignée fréquemment sous le nom de tuf.

Schiste métallifère, formant une couche fort inégale dans son épaisseur et portant la trace de dislocations violentes. Ce schiste, de couleur variable, est généralement d'un noir mat. Sa richesse en mercure varie dans des limites très-étendues.

4° Couche dolomitique (*Wengener Schichten*) qui, après avoir subi des broyages, a été transformée en un conglomérat, médiocrement riche en cinabre, mais exploitable cependant dans un grand nombre de cas.

(1) *Extrait d'un Journal de voyage* de M. Lodin, élève-ingénieur des mines, 1874.

5° Puissantes couches de schiste imprégné de mercure, connues sous le nom de *Silberschiefer*.
6° Grès rougeâtre stérile.

Les couches du n° 5 sont parfois recouvertes par un calcaire fétide (*Stinkstein*), lequel est fort développé entre Idria et Ober Laybach, ainsi que par le ***Muschelkalk*** et le ***Höhlenkalk***, qui appartienent déjà à la base du jurassique et se montrent souvent dans la Carniole.

Les couches imprégnées de mercure appartiennent à la partie inférieure du trias; elles sont orientées à peu près suivant la direction 130° S., qui se rapproche beaucoup de la direction du Thuringerwald.

Les actions mécaniques qui ont disloqué les couches, à Idria, ont vraisemblablement été très-violentes.

Platine.

Platine associé au fer chromé et à la serpentine.

On sait que le platine de l'Oural n'est connu, jusqu'à présent, qu'en grains isolés. Les recherches de M. Le Play avaient bien appris que sa roche mère devait très-vraisemblement être la serpentine, mais c'est seulement dans ces derniers temps qu'on a trouvé, à Nijné-Taguilsk, des échantillons qui ont permis de le bien constater.

Dans un galet de serpentine, M. Daubrée (1) a reconnu du platine qui s'y trouvait associé au fer chromé. Examinant cette roche au microscope polarisant, il y a reconnu des grains ayant tous les caractères optiques du péridot, qui avaient été plus ou moins transformés en serpentine; il y avait aussi un élément pyroxénique qui, d'après M. Des Cloizeaux, paraît être un sahlite ferrière.

L'association du platine et du fer chromé est extrêmement intime et, suivant M. Daubrée, on peut s'en rendre compte en concevant que les trois corps platine, fer et chrome, d'abord à l'état métallique, ont été originairement soumis à une sorte de scorification partielle; c'est ce que confirme l'expérience. Cette scorification serait tout à fait analogue à celle par laquelle M. Daubrée, en s'appuyant aussi sur des expériences, a cherché à imiter des météorites dans lesquels le fer se trouve également, en partie à l'état métallique et en partie à l'état oxydé.

(1) *Comptes rendus*, LXXX, 707.

La présence du fer métallique, allié au platine natif, suffirait déjà pour le caractériser au milieu de toutes les substances minérales connues dans l'écorce terrestre, et pour le rapprocher des roches météoritiques.

Comme autre trait d'analogie, il importe d'observer qu'ordinairement les roches météoritiques, à base de péridot, contiennent aussi du fer chromé; elles ressemblent donc, minéralogiquement, à la gangue du platine de l'Oural. Cette ressemblance, que M. Daubrée avait signalée autrefois, trouve une confirmation remarquable et se complète par la présence du péridot qui accompagne le platine. Le rapprochement est particulièrement frappant pour la météorite tombée à Chassigny (Haute-Marne) qui, d'après l'analyse très-exacte de M. Damour, se compose presque entièrement de péridot, auquel se joint du fer chromé dans la proportion de 4 p. 100. La ressemblance entre cette roche cosmique et la roche terrestre de Nijné Taguilsk, s'étend jusqu'à l'aspect de la texture. Toutefois, suivant M. Daubrée, il existerait entre ces deux roches cette différence, que la gangue du platine de Nijné Taguilsk se serait transformée, et qu'elle aurait subi une hydratation dans laquelle la serpentine se serait produite aux dépens du péridot, tandis que, dans la météorite de Chassigny, ce minéral est resté inaltéré.

Dans son travail, M. Daubrée signale les traits multiples et inattendus de similitude, tant dans la constitution minéralogique que dans le mode possible de formation, qui rapprochent certaines météorites de la gangue de platine à péridot et fer chromé.

Météorites et roches analogues.

M. Walter Flight (1) a entrepris la description de toutes les chutes de météorites survenues depuis le commencement de 1869, époque à laquelle s'arrêtait le travail de M. Rammelsberg, sur la composition chimique de ces corps.

L'ouvrage de M. Flight comprend aussi l'exposé des travaux publiés de 1869 à 1874 sur les chutes plus anciennes. On y trouve en outre un résumé très-complet de toutes les observations relatives au fer natif du Groënland (2). Nous croyons devoir conserver l'expression de *fer natif*, car la description donnée par M. Nauck-

(1) *Geol. Mag.*, 1875, 16, 115, 152, 214, 257, 362, etc.
(2) *Revue de géologie*, X, 101.

hoff du gisement des blocs d'Ovifak apporte, il faut en convenir, de puissants arguments en faveur de l'opinion qui refuse à ces blocs une origine météorique. La liaison intime des masses de fer avec le dyke de basalte qui fait saillie sur la côte, l'alignement des blocs dans le prolongement du dyke, la présence, dans le basalte, de fer magnétique et de masses ellipsoïdales de fer natif, allongées dans le sens même du dyke, sont autant de raisons, suivant nous, de considérer le fer d'Ovifak comme intimement lié au basalte.

En faveur de cette manière de voir, on peut invoquer le fait rappelé par M. Flight, de la découverte faite par M. le professeur Andrews de fer natif en parcelles microscopiques dans le basalte de Belfast et d'Antrim. Mais on doit à M. Rammelsberg des considérations encore plus puissantes. On sait que les laves anciennes d'Islande et de Java sont formées d'augite et d'anorthite, comme la météorite de Juvenas. Les bombes des volcans éteints de l'Eifel sont constituées par du péridot, de l'augite, de la bronzite et du fer chromé, minéraux qui abondent tous dans les météorites. Cela étant, n'est-il pas naturel que le fer qui doit exister au centre de la terre, pour justifier la haute densité de notre planète, offre les mêmes caractères que celui des pierres tombées du ciel, notamment la présence du nickel et du carbone, et n'est-il pas injuste d'invoquer, contre son origine terrestre, une similitude de composition en quelque sorte nécessaire ?

M. Daubrée a déjà fait remarquer que le Groënland, par l'abondance des roches doléritiques, paraît présenter à un haut degré les conditions propres à l'apparition au jour de masses situées à de grandes profondeurs. Le même savant admet que le basalte de cette contrée a pu subir, pendant son éruption, une action réductrice que rend d'ailleurs assez probable la présence, à ces latitudes, de couches abondantes de lignite.

Enfin M. Lawrence Smith (1), dans un travail sur les caractères magnétiques de l'oxyde de fer, dérivé du fer natif météorique, annonce avoir acquis la conviction que les masses d'Ovifak sont d'origine terrestre.

— Relativement à la composition minéralogique des météorites, M. Stanislas Meunier (2) a fait observer, d'après diverses recherches, que la *Troïlite* ne serait pas un simple protosulfure de fer, mais une variété de Pyrrhotine Fe^7S^8.

(1) *Comptes rendus*, 1874.
(2) *Comptes rendus*, LXXVIII, 763.

FRANCE. — M. Daubrée (1) a examiné deux météorites provenant de deux chutes inédites qui ont eu lieu en France, l'une à Montlivaud (Loir-et-Cher), le 22 juillet 1838, l'autre à Beuste (Basses-Pyrénées) en mai 1859.

La première de ces météorites est formée de péridot, associé à un minéral pyroxénique, avec fer nickelé et pyrite magnétique (pyrrhotine) et appartient au type le plus répandu.

La seconde, de couleur grise, traversée par des veines noires, ramifiées et anastomosées entre elles, ressemble à plusieurs autres provenant de chutes antérieures, en particulier aux météorites tombées également en 1859 à Mexico et dans les îles Philippines.

VIDDIN. — M. Daubrée (2) a également examiné une météorite qui est tombée le 20 mai 1874, à Virba, près Viddin en Turquie. Il a reconnu qu'elle est formée des espèces minérales les plus habituelles et qu'elle appartient au groupe des *sporadosidères* et à la section des *oligosidères*.

RODA. — En outre M. Daubrée (3) a examiné au microscope une météorite provenant d'une chute qui a eu lieu à Roda (Espagne), en 1871. Il a reconnu que la substance prédominante, observée dans cette météorite, appartient vraisemblablement, non à l'hypersthène, mais à la bronzite. Par l'absence du fer natif, cette météorite vient se ranger dans la dernière des quatre grandes divisions sous lesquelles M. Daubrée a classé toutes les météorites, c'est-à-dire dans les *asidères*. Toutefois, si on la compare aux types que l'on connaissait jusqu'à présent dans cette classe, on voit qu'elle en diffère d'une manière très-notable.

D'un autre côté la météorite de Roda se rapproche beaucoup de certaines roches terrestres, tant par son facies minéralogique que par sa nature chimique; comme le remarque M. Daubrée, elle établit donc un nouveau trait d'union entre les roches cosmiques et les roches qui appartiennent à notre globe.

ATACAMA.— Un fer trouvé dans le désert d'Atacama a été examiné par M. G. Tschermak (4). Ce fer montre les dessins habituels des lamelles octaédriques de troïlite. On y trouve aussi de la schreiber-

(1) *Comptes rendus*, LXXVI, 314.
(2) *Comptes rendus*, LXXIX, 276.
(3) *Comptes rendus*, LXXIX, 1509.
(4) *Jahresber. über d. Fortschritte d. Chemie*, 1871, 1243.

site. Une analyse faite par M. E. Ludwig a donné la composition suivante :

Fe	Ni	Co	Cu	P	Somme.
91,53	7,14	0,41	traces.	0,44	99,52

La troïlite se rencontre, avec les mêmes caractères, dans le fer natif de Jewell Hill, Caroline du Nord.

Gaz des météorites.

Il est très-intéressant de rechercher quelle est la composition du gaz contenu dans les météorites ; c'est ce que M. J. W. Mallet (1) a entrepris pour le fer météorique du comté Augusta (Virginie). Le gaz a été recueilli en faisant le vide avec la pompe de Sprengel. Le volume obtenu s'élevait à peu près au double de celui du fer météorique dont la densité était 7,85 : il a été fractionné en 3 parties ; A correspond aux deux premiers quarts du gaz dégagé par le vide ; B au troisième quart ; C au quatrième quart.

	H	CO	CO^2	Az	Somme.
A.	22,12	15,99	7,85	6,06	
B.	10,52	11,12	1,02	1,45	
C.	3,19	11,22	0,88	8,58	
Somme. . .	35,83	38,33	9,75	16,09	100,00

On voit que la composition chimique du gaz, dégagé par un fer météorique, varie beaucoup au commencement et à la fin de l'opération. Ce gaz contient de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique et de l'azote. M. J. W. Mallet a trouvé plus d'oxyde de carbone que d'hydrogène : ce résultat est contraire à l'opinion de Graham ; d'après des expériences analogues, ce savant avait admis, en effet, que l'oxyde de carbone domine seulement dans les fers terrestres, tandis que l'excès d'hydrogène est caractéristique pour les fers météoriques.

Origine des météorites.

Lorsqu'on examine des collections de météorites, on est surtout frappé, dit M. Tschermak (2), de leur structure fragmentaire. Leurs formes sont anguleuses et, comme l'a montré Haidinger, la croûte noire qui adoucit les arêtes de leur surface s'est formée seulement au moment de leur pénétration dans l'atmosphère terrestre.

---

(1) *Philosophical Magazine* [4], XXXXIV, 31 ; *Jahresbericht der Chemie*, 1872, 1191.

(2) *Sitzb. d. K. Akad. d. Wissenschaften*, avril 1875.

Les météorites peuvent quelquefois présenter des caractères indiquant qu'elles se sont formées par cristallisation lente ; toutefois, la plupart sont composées de petits fragments et de grains arrondis qui accusent un frottement et une trituration ; ce sont, comme Haïdinger les a appelées le premier, des tufs météoritiques. D'un autre côté, ainsi que l'a remarqué M. Zirkel, ces tufs ne présentent pas de laves scorifiées et vitreuses, comme les cendres volcaniques terrestres.

Déjà M. Daubrée (1) a cherché à expliquer l'origine des météorites soit par le choc, soit par l'explosion de masses planétaires.

Mais M. Tschermak observe que, dans le cas d'un choc, on devrait avoir des débris de grosseur inégale ; or, ils sont généralement très-petits et une météorite du poids de 5 kilogrammes est déjà assez rare. Il lui semble donc plus naturel d'admettre l'explosion, telle qu'elle paraît avoir été reconnue par Zöllner, Young, Respighi et Lockyer, à la surface du soleil, où elle a lieu avec une énergie qui dépasse tout ce que nous voyons sur la terre. On peut concevoir que des corps planétaires de petite dimension aient été soumis à ce régime d'explosions et qu'ils aient lancé dans l'espace de menus débris qui, ensuite, ne pouvaient plus retomber sur leur surface; pareille hypothèse avait déjà été admise pour la lune par La Place et Berzélius. Cette forme spéciale du volcanisme cosmique suppose toutefois une intervention très-énergique de gaz ou de vapeurs, et il est probable que l'hydrogène y a joué un rôle important.

Enfin nous rappellerons que précédemment M. Stanislas Meunier (2) a indiqué pour les météorites une origine assez différente; en effet, il les attribue à un petit satellite de la terre qui aurait été démoli et dont elles seraient les débris. Sous l'influence d'actions qui lui paraissent se manifester dans la lune, ce satellite se serait désagrégé successivement et, se réduisant en fragments très-petits, il aurait en définitive produit les météorites.

Age des roches éruptives.

Dans son traité de géologie, duquel nous avons déjà parlé précédemment, M. Franz de Hauer (3) décrit les différentes roches

(1) *Journal des savants*, 1870.
(2) *Géologie des météorites*.
(3) *Die Geologie und ihre Anwendung*, 3e Lieferung, Wien, 1874.

éruptives qui sont intercalées dans la série des terrains. Voici le tableau qui résume l'ensemble des observations faites dans l'Empire austro-hongrois :

TERRAINS.	ROCHES ÉRUPTIVES.
Alluvions et Diluvium.	Laves modernes.
Néogène (Miocène et Pliocène).	Trachyte, Basalte.
Eocène.	Basalte.
Crétacé.	Teschenite, Pikrite, Banatite.
Jurassique.	Porphyre, porphyre augitique, mélaphyre.
Trias.	Porphyre, porphyrite, monzonite, granite tourmalinifère, mélaphyre, porphyre augitique, euphotide, serpentine.
Permien (Dyas).	Quartz, porphyre, mélaphyre.
Carbonifère.	Diabase, porphyre, serpentine, granite?
Dévonien.	Porphyre, diabase, euphotide.
Silurien.	Porphyre, diorite, diabase.
Gneiss, micaschiste, etc.	Granite, syénite, porphyre, diorite, serpentine, etc.

Il est facile de constater la récurrence d'une même roche dans des terrains qui n'ont pas à beaucoup près le même âge; c'est en particulier ce qui a lieu pour le granite, le porphyre, la diorite, le mélaphyre, l'euphotide et la serpentine.

D'un autre côté M. le professeur F. de Hochstetter établit de la manière suivante, l'âge des principaux types de roches éruptives :

Roches volcaniques.	Lave rhyolithique.	Lave trachytique.	Lave andésitique.	Lave basaltique.
Roches plutoniques récentes. .	Trachyte quartzifère.	Trachyte.	Andésite.	Basalte.
Id. moyennes.	Porphyre quartzifère.	Porphyrite.	Mélaphyre.	Porphyre augitique.
Id. anciennes.	Granite.	Syénite.	Diorite.	Diabase.

Comme nous avons déjà eu l'occasion de le faire remarquer précédemment, l'étude des roches éruptives qui a été faite dans ces dernières années montre bien que la composition chimique ou minéralogique peut être la même pour des roches d'âges très-différents. Aussi M. F. Zirkel (1) déclare-t-il avec raison que la division habituelle des roches éruptives en anciennes (antérieures au tertiaire) et en nouvelles (postérieures au tertiaire) est en définitive peu convenable.

En effet, si l'on fait abstraction de quelques légères modifications dans la structure microscopique du quartz et dans l'état du feld-

(1) *Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine.*

spath, il n'y a pas de différences, soit macroscopiques, soit microscopiques, entre le porphyre quartzifère ancien (*Felsit porphyr*) et la liparite (*Quartz trachyt*). De même, abstraction faite d'altérations moléculaires plus ou moins avancées, il n'existe pas de différence, pour la composition et pour la structure, entre beaucoup de mélaphyres qui sont anciens et les basaltes qui sont récents. Il n'existe pas non plus de différence, sous le microscope, entre les trapps de l'Écosse qui, sous le nom de diabase, forment des nappes contemporaines intercalées dans le grès houiller inférieur et ceux qu'on appelle basalte et qui, dans le même pays, présentent des tufs contenant des plantes miocènes.

M. F. Zirkel observe qu'il serait à désirer que les roches éruptives présentant une composition minéralogique identique et aussi, dans leur ensemble, la même structure, fussent désignées par le même nom. Les petites modifications, qui doivent vraisemblablement être attribuées à l'âge, pourraient alors être caractérisées par de simples adjectifs. De cette manière, dit M. Zirkel, on adopterait pour les roches éruptives le principe de nomenclature qui est suivi déjà pour les roches stratifiées. Par exemple, de même qu'on distingue du grès et du calcaire en carbonifères ou tertiaires, on aurait du basalte et de la diabase qui seraient également carbonifères ou tertiaires.

En réalité, c'est d'ailleurs ce qui a été fait pour la plupart des roches éruptives; car, le gabbro peut être carbonifère ou bien éocène, comme en Italie, ou bien miocène, comme aux Hébrides. De plus, il existe aussi des granites et des porphyres appartenant à des terrains d'âges très-différents.

TROISIÈME PARTIE.

TERRAINS.

TERAINS PALÉOZOÏQUES.

TERRAIN ANTÉSILURIEN.

ALPES. — Pour M. Stache (1), le gneiss fondamental des Alpes est constitué par un ensemble de gneiss et de granites tantôt massifs et grenus, tantôt schisteux, les premiers d'origine plutonique et continentale, les seconds qui, suivant les idées de l'auteur, se seraient formés dans la mer. Tout en distinguant un groupe ancien de gneiss et de gneiss granitiques, des micaschistes et des gneiss phyllitiques, et un groupe plus récent de phyllites gneissiques, M. Stache ne pense pas, et avec raison, qu'on puisse établir un synchronisme entre l'antésilurien des Alpes et celui de l'Amérique.

Série des roches vertes. — M. Gastaldi (2) admet que le granite plus ancien, dans les Alpes, est celui qui est le moins riche en silice. Le gneiss central ou fondamental est la roche la plus ancienne des Alpes; c'est elle qui a soulevé toutes les autres, étant elle-même à l'état solide. Les granites récents, plus cristallins et moins feldspathiques que les autres, sont associés stratigraphiquement à la zone des roches vertes, qui repose elle-même sur le gneiss fondamental, lequel constitue le terrain laurentien.

Les roches vertes de M. Gastaldi sont des schistes dioritiques, amphiboliques, des euphotides, des diallages, des serpentines et des calschistes, ensemble riche en minerais métalliques. L'auteur

(1) *Jahrb. d. k. k. g. R.*, 1874, XXIV, 140. — *Revue géol. suisse*, 1874, 19.
(2) *Studii geologici.* — *Revue géologique suisse*, 1874, 19.

les parallélise avec le laurentien supérieur et l'huronien du Canada, ainsi qu'avec le trapp du lac Supérieur et l'ophite des Pyrénées. On sait que M. H. Magnan (1) admet qu'une partie des ophites de cette région appartient à l'époque antésilurienne.

Eozoon Canadense. — M. Dawson (2), a signalé un nouveau gisement d'Eozoon Canadense à la côte Saint-Pierre, sur la rivière Ottawa; ce fossile se rencontrerait dans un calcaire intercalé entre deux grandes couches de gneiss qui forment la partie supérieure du laurentien inférieur. On trouve avec lui des moules serpentineux dont la forme rappellerait celle des globigérines et pour lesquelles l'auteur propose le nom d'*Archæospherinæ*. Plus que jamais, M. Dawson persiste à attribuer à l'Eozoon une origine animale.

TERRAIN SILURIEN.

Cambrien et silurien.

M. G. Dewalque (3) a publié une traduction française du travail de M. Sterry-Hunt sur l'histoire des noms cambrien et silurien, travail dont la *Revue* a déjà donné une analyse (4).

EUROPE SEPTENTRIONALE. — D'après M. Hicks (5), il existait, avant le dépôt des couches cambriennes, un continent ayant sa ligne médiane dirigée du sud-ouest au nord-est le long de la rive sud du Pas-de-Calais, et se prolongeant par la Hollande et le Danemark jusqu'à la Baltique. La limite septentrionale de ce continent passait par les Hébrides et la Laponie, sa limite méridionale par l'Espagne et la Russie. La pente générale était dirigée vers le sud-ouest. L'auteur en voit la preuve dans le fait que les dépôts du cambrien et du silurien inférieur ont 8 ou 10.000 mètres d'épaisseur en Angleterre, tandis qu'ils n'ont que 300 mètres en Norwége et moins encore en Russie.

C'est l'abaissement graduel de ce continent qui a permis le dépôt des terrains cambriens. Ces derniers débutent, dans le pays de Galles, par des conglomérats contenant des cailloux de roches précambriennes, auxquels succèdent des grès de rivage et des dépôts d'eaux superficielles. Ce n'est que plus tard que l'affaisse-

---

(1) *Mém. Soc. géol. de France*, X, 1874.
(2) *Geol. Society*, 12 mai 1875.
(3) Mons, 1875.
(4) *Revue de géologie*, XII, 106.
(5) *Geol. Society*, 23 juin 1875.

ment devient assez considérable pour permettre le dépôt de matières fines, où apparaissent les premiers organismes, vraisemblablement venus du sud-ouest.

Suivant l'auteur, l'étude des faunes siluriennes et cambriennes confirmerait ces inductions.

SAINT-DAVID. — Les formations siluriennes inférieures des environs de Saint-David, dans le pays de Galles, ont été l'objet d'un nouveau travail de M. Hicks (1). L'auteur y établit les divisions suivantes :

6. *Llandeilo supérieur*. Schistes noirs avec Ogygia Buchi, Trinucleus fimbriatus.

5. *Llandeilo moyen*. Schistes calcaires avec Asaphus tyrannus, Trinucleus Lloydi, Calymene cambrensis.

4. *Llandeilo inférieur*. Série de schistes et de Trapps, avec Æglina, Ogygia, Trinucleus, et les graptolites bien connus Didymograpsus Murchisoni et Diplograptus foliaceus.

3. *Arenig supérieur*. Série de schistes d'environ 450 mètres de puissance, avec Illænus, Illænopsis, Placoparia, Barrandia.

2. *Arenig moyen*. Série de schistes de 450 mètres, avec Ogygia scutatrix, O. peltata, Ampyx Salteri.

1. *Arenig inférieur*. Schistes noirs de 300 mètres de puissance, caractérisés principalement par les graptolites dendroïdes.

Les graptolites de ces formations ont été décrits par MM. J. Hopkinson et C. Lapworth (2).

Un grand nombre d'espèces de l'étage d'Arenig établissent une liaison étroite entre cet étage et le groupe de Québec, dans le Canada. Les schistes de Skiddaw qui, jusqu'à la découverte faite en 1872 des graptolites dans l'Arenig inférieur de l'île Ramsey, étaient considérés comme les plus anciennes couches à graptolites de la Grande-Bretagne, ne peuvent être parallélisés qu'avec les assises moyennes et supérieures de l'Arenig de Saint-David.

Les graptolites dendroïdes, ou Cladophora, sont signalés pour la première fois dans le Llandeilo inférieur d'Abereiddy Bay, qui contient aussi plusieurs espèces de Rhabdophora, ou graptolites simples. L'ensemble de ces deux familles est jusqu'ici faiblement représenté dans le Llandeilo supérieur et moyen.

Ajoutons que, d'après M. Hopkinson, les derniers sondages en mer profonde ont rapporté des hydroïdes dont la structure se rapproche de celle des graptolites.

---

(1) *Geol. Society*, 2 déc. 1874. — *Revue de géologie*, X, 107 ; XI, 181.
(2) *Geol. Society*, 16 déc. 1874.

Bangor. — On a beaucoup discuté sur la signification qu'il convient d'attribuer au genre fossile *Cruziana* (Bilobites) qui se rencontre dans le silurien inférieur.

M. Wilson (1) a étudié une plaque provenant de Bangor et contenant plusieurs échantillons de Cruziana semiplicata. L'auteur y reconnaît une section elliptique avec une couche externe ou corticale, enfermant une portion médullaire de couleur plus claire. Il est porté à assigner à ce fossile une origine animale et à y voir un organisme fossilisé plutôt que la trace laissée sur le sable par le passage de quelque animal.

Belgique. — M. Malaise (2) a trouvé dans un schiste alunifère à Grand-Manil, des *graptolites* scalariformes dans lesquels M. Geinitz reconnaît de grandes analogies avec les Diplograptus palmeus et Monograptus nuntius.

Ille-et-Vilaine. — Le terrain silurien d'Ille-et-Vilaine comprend, d'après M. Delage (3), à la base, les grès à bilobites, déjà indiqués par M. Rouault à Janson et reconnus depuis à Gosné, à La Ménardais, à Princé, à Saint-Aubin-du-Cormier et à la Haute-Sève; ensuite les schistes ardoisiers de l'Islet, de la Saudrais, de la Veuvre, avec Calymene Arago, Dalmanites socialis, Trinucleus Pongerardi, T. concentricus. M. Delage y signale plusieurs bandes de grès. Enfin au sommet on observe les schistes à graptolites et à Orthis.

Carinthie. — Les *schistes à graptolites* découverts par M. Stache en Carinthie (4), à la montagne d'Osternig, correspondent, par leurs fossiles, aux schistes de Coniston, dans le Cumberland (5). On avait cru jusqu'ici que les schistes de Casanna, auprès desquels les couches à graptolites ont été rencontrées, appartenaient au terrain carbonifère. Mais M. Stache (6) les croit plus anciens. Le silurien supérieur est représenté dans le district par ses fossiles et d'autres schistes sont peut-être dévoniens. Les schistes cristallins du Gailthal sont inférieurs à la grauwacke ancienne, qui les recouvre en discordance.

---

(1) *Geol. Society*, 14 avril 1875.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1874, 886.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 371.
(4) *Revue de géologie*, XI, 104.
(5) *Revue de géologie*, VIII, 86.
(6) *Jahrb. d. k. k. g. R.*, 1873, 175.

ALPES ORIENTALES. — D'après M. Stache (1), le terrain silurien des Alpes orientales comprend trois étages :

Silurien supérieur; formation calcaire avec gîtes métallifères, en partie fossilifère et représentant les étages F et G de M. Barrande.

Silurien moyen (Étage E); schistes argileux finement terreux, noirs et pyriteux, avec Cardiola interrupta, dans les Alpes du nord; dans celles du sud, schistes siliceux noirs avec Graptolites triangulatus.

Silurien inférieur (grauwacke violette de Lipold); jusqu'ici sans fossiles; bien développé dans toute la chaîne.

CANADA. — *Formation de Guelph.* — La formation dite du Niagara, composée de schistes et de calcaires, et admise comme l'équivalent du groupe de Wenlock, est couronnée, aux environs de la ville de Guelph, par un groupe de couches ayant le caractère de dolomies ou de calcaires magnésiens et contenant une faune assez spéciale pour que les géologues canadiens en aient fait un étage à part sous le nom de *Guelph formation*. Cet étage paraît former des lentilles plutôt que des assises continues. On le retrouve à Cedarville, dans l'Ohio, à Leclaire, dans l'Iowa, ainsi que dans l'Illinois et le Wisconsin.

La faune comprend, d'après M. Alleyne Nicholson (2), deux espèces de Stromatopora, un petit nombre de polypiers appartenant aux genres Favosites, Amplexus, Cyathophyllum, quelques crinoïdes. Mais ce qui abonde surtout, ce sont les mollusques. Parmi les brachiopodes, on remarque les Trimerella grandis, T. acuminata, Monomerella prisca, Dinobolus Galtensis, Pentamerus occidentalis, P. oblongus, P. ventricosus. Les lamellibranches sont surtout représentés par les Megalomus canadensis et M. compressus. Enfin, parmi les gastéropodes, trois genres sont surtout abondants: Murchisonia, Pleurotomaria, Holopea.

Les crustacés font défaut dans la formation de Guelph au Canada; mais, dans le Wisconsin, on trouve les Calymene Blumenbachi, Illœnus Barriensis, Ceraurus insignis et Sphærexochus mirus.

RENSSELÆR. — M. Ford (3) a signalé la découverte, dans le comté de Rensselær, d'un nouveau gisement de fossiles appartenant à la *faune primordiale* (4). La roche encaissante est un calcaire

(1) *Jahrb. d. k. k. g. R.*, XXIV, 2.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 343.
(3) *Americ. Journ.* [3], IX, 204.
(4) *Revue de géologie*, IX, 105.

d'apparence bréchiforme subordonné à une série de grès et de schistes noirs. On y a trouvé les Conocephalites trilineatus, Hyolithes Americanus, Obotella nitida. Ces espèces caractérisent aussi le grès inférieur de Potsdam à Troy.

TERRAIN DÉVONIEN.

ILLE-ET-VILAINE. — M. Delage (1) a étudié le terrain dévonien d'Ille-et-Vilaine. Il distingue de haut en bas :

5° Grès supérieurs;
4° Schistes supérieurs;
3° Calcaire;
2° Schistes et grauwacke;
1° Grès inférieurs.

L'assise n° 1 contient des Grammysia, Homalonotus, Orthis, Bellerophon et des Orthocères. On les observe à Saint-Aubin-d'Aubigné, à Saint-Germain-sur-Ille, etc.

Les schistes et grauwackes renferment le Pleurodyctium problematicum, avec des Spirifer, Chonetes, Homalonotus.

Dans le calcaire développé à Gahard, on trouve la faune bien connue de cette localité, avec Homalonotus Gervillei, H. Forbesi, Dalmanites calliteles, Orthoceras striatum, etc.

Enfin, les schistes et grès supérieurs sont fossilifères à Bourgon, où ils supportent le calcaire carbonifère.

Le travail de M. Delage est accompagné d'une carte géologique et de plusieurs coupes.

BASSIN FRANCO-BELGE. — M. Gosselet (2) a constaté que les calcaires de Philippeville, ceux de Rance, d'Hestrud, de Beaumont et de Ferrières-la-Grande, considérés jusqu'ici comme une dépendance du calcaire eifélien ou dévonien moyen, appartiennent à l'étage des calcaires de Frasne (3) ou dévonien supérieur à Spirifer Verneuili. Seulement, à mesure que l'on se rapproche du bord septentrional du bassin d'Avesnes, le caractère des calcaires se modifie : de rouges qu'ils étaient, ils deviennent bleus ; au lieu de former des lentilles, ils se présentent en bancs continus. Leur faune se modifie également en perdant les espèces carastéristiques de Frasne, telles que Rhynchonella cuboïdes, Spirifer euryglossus, etc.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 375.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 356.
(3) *Revue de géologie*, XII, 115.

M. Gosselet pense que les calcaires de Ferques, dans le Boulonnais et ceux de Rhisnes, près de Namur, appartiennent au même horizon.

MM. Cornet et Briart (1) ont signalé la présence du calcaire de Couvin ou étage des schistes à calcéoles dans la vallée de l'Hogneau, à peu de distance du rocher dit le *Caillou-qui-bique*. Ils reposent sur les schistes et poudingues du dévonien inférieur et contiennent les Calceola sandalina, Atrypa reticularis, Athyris concentrica, Orthis striatula, etc., avec un Phacops et un Euomphalus.

Cette conclusion ne doit pas s'appliquer, d'après M. Ladrière (2), aux carrières d'Autreppe, situées dans le bois d'Angre et qui contiennent les Strigocepalus Burtini, Spirifer undatus, S. subcuspidatus, Spirigera concentrica. Le calcaire de cette zone appartient donc au dévonien moyen. Il est recouvert par des calcaires à Bellerophon lineatus et à Strigocephalus, couronnés par les schistes de Famenne.

Condros. — M. Mourlon (3) a donné une description géologique et paléontologique détaillée de l'étage des psammites du Condros. L'auteur évalue la puissance totale de l'étage à 600 mètres et le subdivise en quatre assises qui sont de haut en bas :

4° Psammites et macigno d'Évieux (200 mètres) à végétaux, Psilophyton Condrusorum, Sphenopteris flaccida, Palæopteris hibernica, Triphyllopteris elegans;

3° Psammites à pavés de Montfort (150 mètres) avec Cucullæa Hardingi et traces de végétaux paraissant appartenir à des calamites. On y trouve aussi les Spirifer disjunctus, Rhynchonella pleurodon, R. pugnus ;

2° Macigno noduleux de Souverain-Pré (100 mètres) avec Spirifer disjunctus, Rhynchonella pleurodon, Atrypa flabellata;

1° Psammites d'Esneux à crinoïdes (150 mètres), avec Poteriocrinus.

— Jusqu'à présent, on connaissait seulement trois plantes fossiles dans le psammite du Condros ; Palœopteris hibernica, Chondrites antiquus Gö. Chondrites confertus Coem. ; mais M. Fr. Crépin (4) y a observé des calamites, ainsi que des espèces nouvelles : Psilophyton Condrusorum, Sphœnopteris flaccida, Palœopteris Hibernica Sch., et Triphyllopteris elegans Sch.

Sibérie. — M. Nesterowsky (5) a étudié la formation dévo-

(1) *Soc. géol. de Belgique.* Mém. I, 8.
(2) *Soc. géol. du Nord*, II, 71.
(3) *Bull. Acad. roy. de Belgique*, 2e série, XXXIX, n° 5.
(4) *Acad. roy. de Belgique*, 1874 : [2], XXXVIII.
(5) *Soc. géol. de Belgique.* Mém. II, 12.

nienne dans la chaîne de Salaïr (Gouvernement de Tomsk). Cette formation est représentée par un calcaire à Calceola sandalina, Aulopora repens, Favosites Goldfussi, Pentamerus galeatus, Spirigerina reticularis, Orthis striatula, etc., et par des schistes argileux avec Conularia et Phacops latifrons.

BASSIN DU MAC'KENZIE. — M. Hébert (1) a reconnu, dans les fossiles rapportés par le Père Petitot du bassin du Mac'Kenzie, les Favosites reticulata, Cyathophyllum vermiculare, C. Rœmeri, Spirifer Rousseau, Atrypa, Orthisina umbraculum, Bellerophon. Ces fossiles indiquent l'étage dévonien, caractérisé par des espèces identiques avec celles du dévonien anglo-français.

TERRAIN CARBONIFÈRE.

STAFFORDSHIRE. — *Terrain houiller supérieur.* — On avait cru longtemps, sur la foi de hautes autorités scientifiques, que le bassin houiller du Staffordshire méridional était limité vers l'est par une sorte de barrière passant par West Bromwich, et qu'il n'y avait aucune chance de rencontrer de la houille au delà sous les couches permiennes. Cependant la Compagnie de Sandwell Park, sous la direction de M. Henry Johnson, n'a pas craint de s'aventurer dans ces régions et sa hardiesse a été récompensée par un plein succès : d'après M. Ketley (2), le sondage de Sandwell a rencontré, à 100 mètres de profondeur, des schistes rouges avec nombreuses plantes fossiles qu'on a d'abord rapportées au permien. A 200 mètres on trouvait un lit de houille reposant sur une argile à Stigmaria qui contenait plusieurs espèces identiques avec celles des schistes rouges. M. Ketley en conclut que ces derniers avaient été classés à tort dans le permien et qu'il y faut voir du terrain houiller. Il nous semble que c'est seulement un fait de plus à ajouter à tous ceux qui établissent l'intime liaison du terrain houiller supérieur avec la formation permienne (3). Ce qui confirme cette conclusion, c'est que les couches de houille découvertes à Sandwell sont inconnues jusqu'ici dans le terrain houiller proprement dit, et que, en les attribuant à cet étage, on serait conduit à lui donner une épaisseur supérieure à celle qui a été reconnue dans tout le reste du Staffordshire.

---

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 87.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 193.
(3) *Revue de géologie*, X, 113.

Yorkshire. — *Troncs de sigillaires en place.* — M. H. C. Sorby (1) a décrit un gisement du Yorskhire méridional où le grès houiller contient une dizaine de troncs de sigillaires dans leur position naturelle avec leurs racines adhérentes, en forme de stigmaria. Ces arbres ont crû sur un sol aujourd'hui formé par un schiste argilo-terreux. Les plus petits ont quatre racines, les plus grands en ont huit. L'auteur, en discutant la position de ces racines par analogie avec ce qui se passe pour les végétaux actuels, en conclut qu'à l'époque houillère le vent dominant de la région était le vent d'ouest.

Angleterre. — *Polypiers carbonifères.* — M. J. Thomson (2) a décrit quelques polypiers nouveaux du calcaire carbonifère, appartenant au genre Rodophyllum. Ces polypiers proviennent d'une couche qu'on peut suivre dans toute la formation carbonifère d'Angleterre et qui est, par excellence, le gisement des coraux simples.

Bassin anglo-français. — M. Gosselet (3) pense que le terrain houiller peut exister entre Fléchinelle et Hardinghen et passer ensuite sous le Pas-de-Calais pour se relier avec les couches houillères de Bristol et du pays de Galles. Contrairement à l'opinion de MM. Prestwich et Godwin-Austen, l'auteur croit que la partie souterraine du terrain houiller, en Angleterre, doit être recherchée, non pas au nord de Londres, mais au sud, dans le Kent, le Sussex et le Hampshire. Il rappelle que MM. *Briart* et Cornet ont signalé l'analogie des houilles de Bristol avec celles de la Belgique.

Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. — M. Potier (4) pense que le terrain houiller du Nord, au lieu d'être absolument concordant avec le calcaire carbonifère, est en stratification transgressive relativement à ce dernier. Remarquant que l'accumulation de plusieurs couches de houille sur un même espace suppose un affaissement correspondant du sol, il ne croit pas qu'un tel mouvement puisse s'accomplir avec une régularité absolue : de là ces phénomènes tels que la réunion de deux couches de houille en une seule. Le calcaire a été rencontré tout près de la houille à Haisn

(1) *Geol. Society*, 28 avril 1875.
(2) *Geol. Mag.*, 1874, 556.
(3) *Soc. industrielle du Nord de la France*, n° 6, 1874.
(4) *Assoc. française*. Lille, 1874, 375.

et à Meurchin; mais, plus à l'est, il s'intercale entre ces deux formations des grès stériles et du côté de Mons, elles sont séparées par une épaisseur assez considérable de schistes à possidonies. Il semble donc qu'il y ait eu un envahissement successif du bassin, vers l'ouest, par les eaux qui ont déposé les grès et les schistes houillers et, en même temps, une diminution dans le nombre des couches de houille que l'on peut espérer rencontrer.

BASSIN DE VALENCIENNES. — M. Gosselet (1), en s'appuyant sur les travaux de MM. Fuchs et Olry relativement à la reprise des concessions de Marly et de Crespin, a présenté quelques considérations sur l'allure des terrains houillers au sud du bassin de Valenciennes. L'auteur persiste plus que jamais à penser, contrairement à M. Dormoy, que le terrain houiller existe sous la ville de Valenciennes. Puis, interprétant divers sondages, il en déduit une coupe du bord méridional du bassin avant ses dislocations. D'après cette coupe, les assises carbonifères se seraient déposées presque à angle droit sur la tranche des couches siluriennes et dévoniennes. Depuis, il y a eu de nombreux renversements, par suite desquels la série dévonienne est venue, en divers points, recouvrir le terrain houiller suivant des plans de rupture très-peu inclinés à l'horizon. En certains cas, comme à Quiévrechain, il en résulte une structure des plus compliquées.

BASSIN DE MONS. — *Couches marines dans le terrain houiller.* — MM. Cornet et Briart (2) ont signalé des plaquettes de calcaire à crinoïdes, semblables au *petit granite* des Ecaussines, intercalées dans des schistes et grès du terrain houiller à Baudour, dans le bassin de Mons. Outre les crinoïdes, on trouve dans le calcaire des brachiopodes, parmi lesquels Productus carbonarius et Chonetes Laguesseana. Ces espèces caractérisent le second niveau de fossiles marins du terrain houiller belge, le premier étant formé par les schistes à possidonies.

BASSIN DE NAMUR. — *Nummulite carbonifère.* — M. Brady a découvert, dans des fragments de calcaire carbonifère de Namur qui lui avaient été communiqués par M. Van den Broeck (3), un fossile microscopique appartenant au genre nummulite, qu'il a

(1) *Soc. géol. du Nord*, II, 113.
(2) *Soc. géol. de Belgique*. Mém. II, 52.
(3) *Soc. géol. de Belgique*. Mém. I, 16.

décrit sous le nom de Nummulina pristina. Il est remarquable que la forme la plus voisine de cette espèce est l'une des dernières nummulites, la N. variolaria du grès de Beauchamp.

FOREZ. — M. Julien (1) a découvert dans la vallée du Sichon (Forez), à l'Ardoisière, une faune carbonifère contenue dans les calcaires qui font système avec des poudingues et des schistes. M. de Koninck (2) y a déterminé 79 espèces, parmi lesquelles Phillipsia globiceps, Nautilus sulcatus, Aviculopecten subfimbriatus, Conocardium minax, Euomphalus helicoides, E. acutus, Spirifer lineatus, S. glaber, S. crassus, S. octoplicatus, Productus giganteus, P. cora, P. semireticulatus, P. scabriculus, Chonetes papilionacea, etc. C'est la faune du calcaire carbonifère de Visé et de Bleiberg.

Ainsi, l'émersion du plateau central de la France serait postérieure à l'époque carbonifère.

PUERTOLLANO. — M. de Reydellet (3) a signalé la découverte à Puertollano, dans la province de Ciudad-Real, en Espagne, d'un bassin houiller déposé en couches très-peu inclinées dans une dépression du terrain silurien. Les végétaux de ce terrain, étudiés par MM. Zeiller et Grand'Eury, sont les Walchia piniformis, Calamites Suckowi, C. Cisti, Pecopteris dentata, P. pteroïdes, P. arborescens, Goniopteris elegans, Sphenophyllum fimbriatum, Asterophyllites grandis. Cette faune indique le terrain houiller tout à fait supérieur.

BASSIN DU DON. — D'après M. Ludwig (4) la formation carbonifère, dans le pays des Cosaques du Don, comprend les étages suivants :

4. Étage à fusulines. Schistes bigarrés, grès et calcaires, formant le passage au dyas ou permien et concordant avec le dyas de Bachmut, décrit par Murchison.

3. Assise houillère. — Schistes et grès avec beaucoup de veines de houille et peu de lits calcaires.

2. Assise ferrifère. — Grès et schistes avec minerai de fer.

1. Assise calcaire, avec Productus giganteus et Spirifer glaber, reposant sur un grès et un conglomérat à plantes fossiles, formation lacustre qui correspond au terrain houiller de la Russie centrale.

---

(1) *Comptes rendus*, LXXVIII, 74.
(2) *Soc. géol. de Belgique*. Mém. I, 2.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 160.
(4) *Die Steinkohlenform. im Lande der Don'schen Kosaken.* Moscou, 1874. — *Neues Jahrb.*, 1874, 978.

SILÉSIE. — *Calcaire carbonifère.* — M. Feistmantel (1) a étudié le calcaire carbonifère de Rothwaltersdorf, dans le comté de Glatz. On trouve dans ce gisement une association de restes fossiles qui, dans d'autres localités, comme à Landshut et à Silberberg, n'ont pas l'habitude de se rencontrer ensemble.

Les sigillaires font défaut, comme cela arrive, du reste, dans toutes les couches de l'âge du Culm. Plusieurs plantes nouvelles y ont été découvertes, appartenant aux genres Sphærococcites, Asterophyllites, Sphenopteris, Hymenophyllites.

SIBÉRIE. — M. Nesterowsky (2) a étudié le terrain carbonifère de la chaîne de Salaïr, aux environs de Batschat. Le calcaire carbonifère, avec silex, contient les Productus semireticulatus, Spirifer striatus, Spirifer mosquensis. M. de Moeller le rapporte à l'étage inférieur de la formation. Un grès à Streptorhynchus crenistria et un conglomérat sont associés au calcaire.

Le terrain houiller présente un développement énorme, connu sous le nom de bassin de Kousnetzk. On y observe des grès avec Noeggerathia, Sphenopteris, Araucarites, des schistes argileux avec Équisetites, Calamites, Tæniopteris, Cyclopteris, Trigonocarpus, et sept couches principales de houille.

CANADA. — *Carbonifère inférieur.* — M. Dawson (3) a décrit les plantes fossiles du terrain carbonifère inférieur du Canada. Ce terrain comprend, au-dessous du système houiller proprement dit (coal-measures) :

1° Le groupe du Millstone-grit, formé de grès et de schistes, souvent colorés en rouge, et de conglomérats avec plantes, parmi lesquelles les troncs de Dadoxylon Acadianum sont fréquents;

2° Le groupe de Windsor, ou calcaire carbonifère inférieur, avec Productus cora, P. semireticulatus, Athyris subtilita, Terebratula-sufflata. Cette formation contient des couches de gypse;

3° Le groupe de Horton-Bluff, formé de grès et de schistes, quelquefois très-bitumineux et contenant de minces couches de houille. Les fossiles caractéristiques sont : Lepidodendron corrugatum, Cyclopteris Acadica, Dadoxylon antiquius. On y trouve par places de nombreux débris de poissons, des entomostracés, comme Leaia Leidyi, Leperditia subrecta, Beyrichia colliculus.

INDIANA. — *Fossiles marins dans le terrain houiller.* — M. Cox (4)

(1) *Zeit. d. d. g. G.*, XXV, 463.
(2) *Soc. géol. de Belgique*. Mém. II, 12.
(3) *Geol. Survey of Canada*. Montréal, 1873.
(4) *Neues Jahrbuch*, 1875, 322.

a signalé, dans le terrain houiller de l'Indiana, la présence de nombreux fossiles marins intercalés entre les couches de houille : les principaux sont les Spirifer cameratus, Productus semireticulatus, Athyris subtilita, Chonetes mesoloba, Bellerophon carbonarius. Les végétaux de la houille appartiennent aux espèces suivantes : Sigillaria reniformis, Pecopteris arborescens, Sphenophyllum Schlotheimi, Neuropteris hirsuta, N. Loshi.

Diatomées dans le terrain houiller. — On croyait généralement que les diatomées étaient d'origine géologique assez récente. M. Castracane (1), se fondant sur ce que les plantes favorisent la respiration animale en décomposant l'acide carbonique pour mettre l'oxygène en liberté, a conclu par induction que l'apparition des diatomées devait remonter à celle des premiers animaux aquatiques. Il a trouvé en effet des diatomées dans les cendres de la houille d'Angleterre et a pu les reconnaître dans un échantillon de charbon de terre provenant de Liverpool. Il a obtenu le même succès avec la houille de Saint-Étienne, celle de Newcastle et le Cannel-coal d'Écosse. Les diatomées de la houille sont des genres d'eau douce associés à quelques genres marins; ils ne présentent pas de différence appréciable avec les genres actuellement vivants.

Limite entre le terrain houiller et le terrain permien.

SPITZBERG. — D'après M. A. G. von Marschall (2), la dernière expédition allemande au Spitzberg a recueilli à Bell-Sound, sur la côte du sud-ouest, les fossiles suivants : Spirifer Wilczeki, S. striatus, S. lineatus, Productus Weyprechti, P. undatus, P. longispinus, P. Cancrini, Strophalosia Leplayi, Chonetes Verneuili, C. granulifera. Parmi ces espèces, quelques-unes sont caractéristiques du carbonifère, d'autres appartiennent au permien. Le Productus longispinus et le P. Cancrini, entre autres, ont été rencontrés ensemble dans le même fragment de roche. Il y aurait donc là, comme dans bien d'autres contrées, un passage graduel du carbonifère au permien.

CARINTHIE. — On sait que M. Stache (3) a découvert en Carinthie, près de Pontafel, la formation carbonifère supérieure bien

(1) *Atti dell Accad. dei nuovi Lincei.* Rome, 22 fév. 1874.
(2) *Verhandl. der k. k. Akad. d. Wissench.* Vienne, 1874.
(3) *Revue de géologie*, XI, 109. — *Jahrb. d. k. k. g. R.*, XXIV, 2.

caractérisée par un calcaire à fusulines. Dans cette région, comme dans tant d'autres, la liaison est intime entre le carbonifère supérieur et le permien. Le passage se fait par des schistes marneux, des grès et des conglomérats, entre lesquels vient s'intercaler une couche de calcaire noir avec Fusulina carinthiaca, F. Tietzei, F. robusta. Plus haut apparait, avec des fusulines allongées, l'Orthoceras cribrosum, caractéristique du permien du Nebraska; puis viennent les couches à Gyroporella.

Entre Kappel et Vellach, le caractère mixte de la faune est indiqué par les formes permiennes, Pecten Hawni et Chonetes glabra, contenues dans les schistes marneux intercalés entre les grès et conglomérats à Fusulina Suessi, d'une part, et les couches à Fusulina globosa, d'autre part.

SPITZBERG. — M. Toula (1) a étudié les fossiles permo-carbonifères rapportés du Spitzberg par M. von Drasche. Ces fossiles proviennent de la côte occidentale de l'île, et spécialement du Belsund, du cap Staratschin et de Skansbay. On les trouve dans un calcaire gris, siliceux, avec lits de silex noirs, superposé au calcaire carbonifère et couronné par un grès triasique. Sur 64 espèces décrites par M. Toula, 38 sont carbonifères et 17 permiennes; c'est à peu près la même proportion que pour le permo-carbonifère du Nebraska (1). Plusieurs formes sont nouvelles : parmi celles qui sont déjà décrites, on peut citer Stenopora ramosa, Chonetes papilionacea, C. Verneuili, Productus horridus, P. Cancrini, P. longispinus, P. semireticulatus, Strophalosia Leplayi, Streptorhynchus crenistria, Orthis resupinata, Spirifer lineatus, S. striatus, Aviculopecten Bouei, A. dissimilis, Gervillia antiqua, Pleurotomaria Verneuili, Euomphalus, etc.

M. Albert Gaudry (2) a décrit, sous le nom de Protriton Petrolei, un petit *batracien* découvert dans les schistes bitumineux du bassin d'Autun. C'est la première apparition constatée de cette classe de vertébrés dans les terrains paléozoïques.

LODÈVE. — M. de Saporta (3) a signalé, dans le permien de Lodève, deux types nouveaux de conifères, très-curieux l'un et l'autre, et se rapprochant assez d'une espèce isolée de la nature actuelle, le Gingko biloba.

---

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, 225.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III. 299.
(3) *Comptes rendus*, LXXX, 1017.

Saxe. — M. Eug. Geinitz (1) a continué ses recherches sur la faune et la flore des schistes du permien ou dyas inférieur de Weissig près de Pillnitz (2). On y trouve de nombreux poissons appartenant aux Acanthodes gracilis et Palæoniscus angustus associés aux Uronectes fimbriatus et Estheria tenella. Les insectes sont relativement abondants; ce sont des Blattina, formant quatre espèces. La formation a 60 mètres environ d'épaisseur et les poissons se rencontrent surtout vers sa base. Il ne paraît cependant pas possible d'y établir des zones paléontologiques et les plantes y existent dans toute la hauteur.

TERRAINS MÉSOZOÏQUES.

Limite entre le terrain permien et le trias.

On enseigne en général que le permien d'Angleterre est recouvert en discordance par le trias et que, tandis que ce dernier terrain appartient par ses caractères au groupe mésozoïque, l'autre est plus convenablement rangé dans la série paléozoïque.

Cependant il y a de grandes analogies entre le trias et le permien, sous le rapport de l'abondance des roches rouges, grès, conglomérats ou argiles. Ces analogies avaient conduit Conybeare à réunir les deux étages en un seul groupe nommé *poikilitique* et cette solution, adoptée par de la Bèche, a été reprise dans le dernier ouvrage de J. Phillips. Ajoutons d'ailleurs que les mêmes idées ont aussi été developpées par M. Jules Marçou qui, dans sa carte géologique de la terre, réunit sous une même couleur le permien (Dyas) et le trias.

M. Horace Woodward (3) s'est demandé si la discordance de stratification, signalée entre le trias et le permien, devait être considérée comme sérieuse. Il est arrivé à cette conclusion que

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, I.
(2) *Revue de géologie*, XI, 113.
(3) *Geol. Mag.*, 1874, 385.

les faits de discordance allégués par les auteurs sont des phénomènes tout à fait locaux et du même ordre que les irrégularités qu'on peut bien souvent reconnaître entre deux couches consécutives, soit du permien, soit du trias. De tels accidents de superposition trouvent leur explication dans le caractère particulier des sédiments, formés pour la plupart dans des lacs. En résumé, il n'y a rien qui indique une ligne de séparation importante entre les deux étages, et il faut s'habituer de plus en plus à l'idée que la série secondaire a succédé, dans la plupart des cas, sans interruption à la série primaire.

TERRAIN TRIASIQUE.

WARWICK. — *Labyrinthodontes du Keuper.* — M. Miall (1) a étudié les restes de Labyrinthodontes provenant du grès Keupérien de Warwick et conservés au musée de cette ville. Il reconnaît comme espèces distinctes, les Mastodonsaurus Jœgeri, M. pachygnathus etc. Labyrinthodon leptognathus, auxquelles il ajoute une espèce nouvelle, le Diadetognathus varvicensis.

DAWLISH. — *Couches à Murchisonite.* — M. Osmérode (2) a étudié le trias de l'embouchure de l'Exe, et spécialement les couches à Murchisonite de ce district. La murchisonite s'y rencontre sous formes de traces dans un grès rouge tendre, et en grande abondance dans un conglomérat bien développé à Dawlish. Ces deux assises sont assez constantes pour que l'auteur les considère comme établissant une division bien marquée dans l'étage du grès bigarré.

SOMERSET, DEVON. — M. Ussher (3) a fait une étude complète du bassin triasique situé entre la côte occidentale du Somerset et la côte méridionale du Devon. L'auteur y distingue, de haut en bas, les assises suivantes :

1° Marnes irisées supérieures (300 mètres), calcaires en haut, argileuses en bas, avec veines de gypse par places et quelques pseudomorphoses de sel gemme;

2° Grès supérieurs (140 mètres), rouges et gris, avec nodules calcaires et veines ou poches d'argile rouge. A leur jonction avec les marnes supérieures, on y observe des lentilles de marne sableuse. A 15 mètres au-dessus de leur base, se trouve le conglomérat d'Otterton-Point, où M. Whitaker a découvert l'Hyperodapedon;

---

(1) *Geol. Society*, 13 mai 1874.
(2) *Geol. Society*, 24 février 1875.
(3) *Geol. Mag*, 1865, 163.

3° Lits de galets et conglomérats (25 mètres), les premiers formés de gros galets ellipsoïdaux de quartzite avec couches discontinues de sable, dans une pâte de sable rouge, les seconds constitués par des galets et des fragments subanguleux de calcaire, de grès et de quartz, dans une pâte sableuse ;

4° Marnes irisées inférieures (140 mètres), faiblement calcaires, devenant argileuses vers leur base et contenant alors des lentilles de grès.

5° Grès inférieurs et Brèches (300 mètres). Les grès sont rouges, les brèches formées de fragments anguleux de grès et de quartz, ou de galets et de morceaux de schiste. Cette assise est la plus variable et elle manque souvent, soit qu'elle ait été enlevée par des failles, soit que les assises supérieures l'aient débordée.

Du reste, tout ce district est parcouru par de nombreuses dislocations.

THÉZANEL. — *Gypse.* — M. Collot (1) a constaté la présence du quartz, en cristaux bipyramidés, dans le gypse subordonné aux marnes irisées de Thézanel, près de Béziers. Ce quartz qui, comme on sait, est fréquent dans le gypse triasique de France et d'Espagne, se retrouve à Thézanel dans les calcaires marneux et les cargneules qui surmontent le gypse. M. Collot y voit un argument en faveur de l'origine geysérienne de cette substance.

WÜRZBURG. — *Couches à Halobia.* — M. F. Sandberger (2) a signalé la découverte de l'Halobia Lommeli dans le muschelkalk de Würzburg, dans les couches à Pecten discites et Pecten reticulatus. Ainsi se trouve justifié le parallélisme que l'auteur avait établi entre le muschelkalk supérieur et les couches de Partnach à Halobia.

THÜRINGE. — *Lettenkohle.* — M. E. Schmid (3) a étudié le Keuper inférieur dans la partie orientale de la Thüringe; cet étage, souvent désigné sous le nom de groupe du Lettenkohle, ne contient que des combustibles terreux, à peu près sans valeur. Son assise la plus constante est la dolomie-limite à Myophoria Goldfussi.

Les fossiles recueillis sont nombreux; en fait de plantes, on peut citer les Araucaroxylon Thuringiacum, Widdringtonensis Keuperianus, Dioonites pennæformis, six espèces de Zamites et douze de Cycadites, Alethopteris Meriani, Tæniopteris angustifolia, Equisetites arenaceus, etc. Parmi les vertébrés figurent les Nothosaurus Cuvieri, Mastodonsaurus Jægeri, Saurichthys acuminatus, Hybodus plicatilis, Gyrolepis tenuistriatus, etc. Enfin la liste des mollusques comprend Natica Gaillardoti, Lucina dona-

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 389.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1875, 518.
(3) *Geol. Specialkarte von Preussen*, 1874. — *Neues Jahrbuch*, 1875, 207.

cina, Myoconcha gastrochæna, Myophoria Goldfussi, M. elegans, M. lævigata, M. vulgaris, Gervillia socialis, Lima striata, Pecten discites, Lingula tenuissima, etc.

TYROL. — *Couches à Cardita.* — M. Pichler (1) a soutenu contre M. de Mojsisovics l'existence d'une assise inférieure à Cardita, séparée de l'assise supérieure par le calcaire du Wetterstein. Les couches supérieures à Cardita, ou couches de Raibl, sont caractérisées par les Halobia rugosa, Megalodon complanatus, Ammonites Haidingeri, et une Cardita autrefois considérée comme Cardita crenata, mais dont M. Pichler fait aujourd'hui la C. Gümbeli.

Au-dessous vient le calcaire du Wetterstein, ou assise à Chemnitzia Rosthorni, avec Halobia Lommeli, H. obliqua, Terebratula angusta. Enfin, en descendant encore, on trouve, après des calcaires bariolés à Halobia, les couches inférieures à Cardita, ou Lettenkeuper de Gümbel, contenant aussi l'Halobia rugosa; mais le Megalodon n'y a pas encore été rencontré.

M. Gümbel (2) partage l'opinion de M. Pichler sur l'indépendance des couches inférieures à Cardita : il indique, dans cet horizon, les Gervillia Johannis Austriæ, Cassianella tenuistriata, Myophoria lineata, Pecten filosus, P. subdemissus, Dentalium arctum, Bactryllium canaliculatum.

ALPES ORIENTALES. — M. de Mojsisovics (3) reconnaît l'existence de plusieurs provinces zoologiques dans le bassin triasique des Alpes orientales. Ces provinces se manifestent surtout pour l'étage norique (4). L'une d'elles comprend le district du Salzkammergut, et est désignée sous le nom de province *juvavique* (du nom latin de la ville de Salzbourg). L'autre est la province *méditerranéenne*, qui embrasse la plus grande partie du trias alpin. Dans cette dernière dominent des sédiments calcaires fins, riches en argile, contenant une faune qui indique une mer largement ouverte. Dans la première apparaissent des dépôts calcaires ou dolomitiques dépourvus d'argile, ne renfermant que quelques intercalations de couches argileuses vers la limite des deux provinces, et offrant, sous beaucoup de rapports, le caractère de récifs coralliens. Avec l'époque carnique, et spécialement à la fin,

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, 265.
(2) *Sitzb. d. Acad. der Wiss.*, 1874, 2.
(3) *Jahrb. d. k. k. g. R.*, 1874, XXIV, 81.
(4) *Revue de géologie*, X, 116.

lors du dépôt des couches de Raibl, sont intervenues des conditions beaucoup plus uniformes. En considérant que les genres Ægoceras et Amaltheus ont disparu des Alpes après le muschelkalk pour y revenir lors de l'époque rhétienne, l'auteur en conclut qu'ils ont dû se perpétuer pendant cet intervalle dans une province triasique étrangère à l'Europe.

La classification des couches dans les deux provinces est exprimée par le tableau suivant :

ÉTAGES.	PROVINCE MÉDITERRANÉENNE.	PROVINCE JUVAVIQUE.
Étage rhétien. .	Couches de Kössen.	Couches de Kössen.
Étage carnique	Dolomie principale et calcaire du Dachstein. Couches de Raibl (à Cardita). Zone du Trachyceras Aonoïdes. Zone de Saint-Cassian.	Calcaire du Dachstein. Couches à Cardita. Zone du Trachyceras Aonoïdes. Zone du Bucephalus subbullatus.
Étage norique.	Couches de Wengen. Zone à Daonella (Halobia) Lommeli et Trachyceras Archelaus. Horizon du Trachyceras Reitzi. Calcaire de Buchenstein.	Calcaire inférieur de Hallstatt. Couches de Zlambach.
Muschelkalk. .	Muschelkalk supérieur ; zone de l'Arcestes Studeri. Muschelkalk inférieur ; zone du Trachyceras balatonicum.	Zone de l'Arcestes Studeri. Manque.
Grès bigarré. .	Röth, Couches de Werfen. Grès de Gröden.	Röth. Couches de Werfen à Trachyceras cassianum.

Quant à ce qui concerne le parallélisme du trias alpin avec celui de l'Europe centrale, M. de Mojsisovics pense qu'il est très-difficile à établir d'une manière positive. Pour lui, le Wellenkalk dans son ensemble constitue un seul étage paléontologique ; le muschelkalk en forme un autre, uni au premier sous bien des rapports. Toutes les subdivisions établies dans ces deux étages ne peuvent avoir qu'une valeur locale. On s'est quelquefois appuyé sur la présence de la Daonella Moussoni dans le muschelkalk de Cobourg pour y voir un équivalent des couches à Halobia (Daonella Moussoni) des Alpes. M. de Mojsisovics (1) a établi, dans un travail spécial sur les genres Daonella et Halobia, que l'espèce alpine Daonella Moussoni diffère essentiellement de celle de Cobourg, qu'il nomme D. Bergeri.

(1) *Abhandlungen d. k. k. g. R.*, VII, n° 2.

L'incertitude devient plus grande encore, lorsqu'il s'agit du trias supérieur. M. Guembel avait rangé le grès de Lunz à la hauteur du Lettenkohle, avec lequel il a quelques espèces végétales communes. Mais ce grès fait partie de l'étage des couches à Cardita dont il n'est qu'un facies local et, en songeant à la place élevée que ces couches occupent dans le trias alpin, tandis que le groupe du Lettenkhole se relie aussi bien au muschelkalk qu'au Keuper, M. de Mojsisovics ne peut admettre cette assimilation et il conclut, avec M. Emmrich, qu'une chronologie exacte et générale du trias restera toujours à l'état de vœu.

Nouveau-Mexique. — Le trias du Nouveau-Mexique offre, suivant M. Cope (1), un facies d'eau douce bien caractérisé. On y trouve des restes de poissons et de reptiles. Les premiers sont des ganoïdes à écailles rhomboïdales qu'on rencontre fréquemment dans les coprolites des reptiles. Ces derniers sont représentés par les trois ordres des crocodiles, des dinosauriens et des sauroptérygiens. La puissance du trias dans le Nouveau-Mexique excède 300 mètres.

Étage rhétien.

Scanie — *Couches à combustibles.* — M. Edvard Erdman (2) a décrit les gisements de charbon de terre exploités en Scanie, notamment à Hoeganaes. Les couches de charbon, dont la puissance est comprise entre 0^{m},30 et 1 mètre, sont intercalées dans une série de grès avec minerai de fer argileux et quelques argiles réfractaires de bonne qualité. L'épaisseur de l'étage est d'au moins 200 mètres. La stratification est horizontale, mais il y a beaucoup de petites failles. La qualité du charbon est très-variable, mais les meilleures variétés sont, paraît-il, aussi bonnes pour les usages industriels que les charbons anglais.

On n'est pas tout à fait d'accord sur l'âge de cette formation d'Hoeganæs. M. Hébert (3) la considère comme appartenant à l'étage rhétien qui, pour lui, forme la base du lias. On y trouve les Amphidesma donaciforme, Avicula inæquivalvis, Pecopteris Becki et des cycadées. M. Torell a d'ailleurs signalé l'affinité de la flore d'Hoeganæs avec celle des couches jurassiques du Yorkshire; il mentionne notamment la présence du Solenites Murrayi.

(1) *Americ. Journ.* [3], X, 152.
(2) *Description de la formation carbonifère de la Scanie*, 1874.
(3) *Revue de géologie*, IX, 110.

Quant aux grès de Hoer, riches en cycadées et en fougères, leurs relations stratigraphiques avec le système d'Hoeganæs sont difficiles à établir. On pense qu'ils passent par-dessous; mais, au point de vue pétrologique, il est le plus souvent impossible de distinguer les grès de Hoer de ceux d'Hoeganæs.

BORNHOLM. — La formation carbonifère de la Scanie se retrouve dans l'île de Bornholm où M. Jespersen (1) l'a étudiée. Sa puissance y est d'environ 700 mètres. Les couches sont souvent très-relevées et traversées par des failles. Les veines de houille sont au nombre de vingt et leur puissance varie depuis quelques centimètres jusqu'à 3 mètres. L'auteur a rencontré une seule fois dans cette formation un exemplaire de Pentacrinus scalaris.

TERRAIN JURASSIQUE.

Lias.

ANGLETERRE. — M. R. Tate (2) a décrit un certain nombre de fossiles nouveaux du lias d'Angleterre. Parmi ces espèces figurent des représentants bien conservés du genre Spiropora, créé par MM. Deslongchamps pour un petit polypier provenant de la couche à Leptœna de May.

D'après M. Tate (3), bien que le lias inférieur de Radstock (Somersetshire) n'ait que 8 mètres d'épaisseur, les différentes zones caractérisées par des ammonites spéciales y sont pourtant faciles à reconnaître. La pauvreté des sédiments fait que ces zones sont pour ainsi dire sans épaisseur ; mais elles existent et il n'y a pas de mélange entre les espèces caractéristiques.

LINCOLNSHIRE. — M. J. E. Cross (4) a décrit les formations liasiques dans le nord-ouest du Lincolnshire, entre les rivières Humbert, Trent et Ancholme. Le lias inférieur est largement développé; c'est à cet étage, et spécialement à la zone à Amm. semicostatus qu'appartiennent les minerais de fer récemment découverts à Frodingham et à Scunthorpe. Plus haut, la zone à Ammonites margaritatus paraît faire entièrement défaut et la série du marlstone se réduit à une couche avec rhynchonelles de 2m,40 d'épaisseur. Le lias supérieur est représenté par des argiles encore mal explorées.

(1) *Geol. Mag.*, 1874, 528.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 203.
(3) *Geol. Society*, 26 mai 1875.
(4) *Geol. Society*, 18 nov. 1874.

Bassin du Rhône. — M. Dumortier (1) rattache au lias supérieur la couche à Ammonites opalinus du bassin du Rhône. Il y a trouvé les Amm. aalensis, A. opalinus, A. Murchisonæ, A. subinsignis, A. fallax, A. scissus, A. annulatus. A. tatricus, A. torulosus, A. Nilssoni.

Au-dessous vient l'assise de l'Ammonites bifrons, comprenant la zone de la Posidonia Bronni et celle de l'Ammonites jurensis.

Gard et Lozère. — M. Collot (2) a reconnu, aux environs de Lodève, la zone à Ammonites planorbis sous la forme de calcaires gris avec Avicula infraliassina, Plicatula hettangiensis, P. intusstriata, Cypricardia porrecta.

Au-dessus viennent des dolomies et des calcaires avec Patella hettangiensis, Lima nodulosa, etc., surmontés directement par les couches à Amm. margaritatus et Gryphæa cymbium, avec absence complète du lias inférieur.

La série se termine par le lias supérieur à Belemnites acuarius et Amm. serpentinus.

M. G. Fabre (3), de son côté, n'a jamais observé non plus, dans l'Aveyron et la Lozère, les couches à Gryphæa arcuata et à Ammonites Bucklandi. Il y a eu, à la fin de l'époque infra-liasique, une émersion, accusée par le caractère des dépôts Hettangiens les plus élevés, où l'on rencontre des couches ligniteuses et charbonneuses avec Thinnfeldia rhomboïdalis, T. obtusa et Brachyphyllum.

Argovie. — D'après M. Moesch (4), le lias d'Argovie comprend les divisions suivantes :

3. Lias supérieur. Cet étage, peu développé, est représenté par les couches à Amm. Jurensis.

2. Lias moyen. Les deux horizons à Amm. margaritatus et à Terebratula numismalis se distinguent difficilement, vu le peu d'épaisseur de l'étage.

1. Lias inférieur : *b*. Calcaire à gryphées ou à Ammonites du groupe des Arietes, très-riche en fossiles à Rohr et à Rinthal, près Trimbach.

a. Horizon des Ammonites Arietes sans quille, correspondant à celui des marnes à insectes. C'est par la pétrographie, plutôt que par les fossiles, que cette assise se distingue de la zone à Amm. angulatus et A. planorbis.

(1) *Études paléontol.*, IV, 1874.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 390.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 397.
(4) *Beitrage zur geol. Karte der Schweiz.* — Berne, 1874.

Étage oolithique inférieur.

ANGLETERRE.—M. Tawney(1) a décrit les gastéropodes trouvés à Dundry dans l'oolite inférieure et conservés au musée de Bristol. Il y a 66 espèces déterminables, dont 19 au moins sont nouvelles. Le genre Pleurotomaria est représenté par 26 espèces.

ARDENNES, HAUTE-MARNE. — M. de Lapparent (2), en étudiant les relations du Fuller's earth des Ardennes avec les dépôts encaissants, a été conduit à penser que cet étage, dans la région en question, pourrait être rattaché plus convenablement à l'oolithe inférieure bajocienne qu'à la grande oolithe. Ses fossiles caractéristiques sont en effet les Clypeus Ploti, Ammonites Parkinsoni, Belemnites giganteus.

Cette manière de voir, combattue par M. Hébert (3), est au contraire partagée par M. Tombeck eu égard à la Haute-Marne. Quant à M. Terquem, sans attacher une importance absolue aux divisions du bathonien et du bajocien, il croit que l'absence, dans les Ardennes, du calcaire à polypiers qui, en Lorraine, recouvre l'oolithe inférieure, introduit une séparation assez tranchée entre cet étage et le Fuller's earth ardennais.

MOSELLE. — On doit à M. Terquem (4) une étude sur les foraminifères contenus dans la zone à Ammonites Parkinsoni de Fontoy (Moselle.) Cette description comprend les genres Polymorphina, Guttulina, Spiroloculina, Triloculina et Quinqueloculina; les espèces diffèrent très-peu de celles du lias et même on a souvent quelque peine à les distinguer de leurs congénères modernes.

ARGOVIE. — Voici, d'après M. Moesch (5), la série des couches oolithiques inférieures en Argovie :

g. Couches à Rhynchonella varians.
f. Grande oolithe, couronnée par les couches à Nerinea basilensis.
e. Couches à Amm. Blagdeni.
d. Calcaires à Amm. Humphriesianus et couches à huîtres.
c. Calcaire ferrugineux et argileux à Amm. Sowerbyi et Inoceramus polyplocus.
b. Calcaires ferrugineux ou sableux avec Amm. Murchisonæ et Trigonia costellata.
a. Couches à Ammonites opalinus.

---

(1) *Proc. Bristol nat. Soc.* 1874, 9.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 146.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 151.
(4) *Quatrième mémoire sur les foraminifères du syst. oolithique.* — Paris, Savy, 1874.
(5) *Beitræge zur geol. Karte der Schweiz.* — Berne, 1874.

Étage oolithique supérieur.

ANGLETERRE. — M. Blake (1) a publié un travail d'ensemble sur la formation kimméridienne en Angleterre : l'auteur divise cette formation en deux étages; mais il reconnait que là où elle repose sur le coral rag, la liaison a lieu par l'intermédiaire de couches de passage. L'étage supérieur, dont la puissance atteint au moins 200 mètres, contient des schistes bitumineux, des argiles et des pierres à ciment; il correspond au virgulien des auteurs. Sa faune est pauvre en espèces et riche en individus. D'après M. Blake, on n'a encore rencontré en Angleterre aucune faune comparable à celle du kimméridien moyen ou ptérocérien, bien que plusieurs des fossiles de cet étage se trouvent en Angleterre, avec ceux du kimméridien inférieur. Ce dernier étage est formé par une masse d'argile bleue ou sableuse avec de nombreux lits calcaires, ayant de 100 à 160 mètres à Ringstead Bay et 120 mètres dans le Lincolnshire. Il correspond à l'astartien du continent. Les fossiles du coral rag pénètrent dans les couches de passage, dont le type s'observe à Weymouth, où elles ont environ 7 mètres de puissance.

M. Govier Seeley, en examinant les vertébrés recueillis par M. Blake dans l'étage kimméridien, y a reconnu trois espèces d'Ichthyosaurus, un Plesiosaurus, un Steneosaurus, un petit ornithosaurien, et une espèce de chélonien, décrite par lui sous le nom de Pelobatochelys Blakei.

BERRI. — MM. Douvillé et Jourdy (2) ont étudié les couches de l'étage oolithique moyen aux environs de Bourges et dans la vallée du Cher. On y observe du haut en bas les assises suivantes :

1° Calcaire à Astartes comprenant :

A. Marnes et calcaires noduleux (8 mètres) avec Ammonites Cymodoce, Pterocera Ponti, Trichites Saussurei, Terebratula bisuffarcinata, Waldheimia humeralis, Pseudocidaris ovifera, Goniolina geometrica.

B. Oolithe à nérinées (2m,50) avec Nerinea Desvoidyi, Ostrea pulligera, Waldheimia humeralis.

C. Marnes et calcaires marneux à fucoïdes (24m,50), avec Terebratula subsella, Waldheimia humeralis, Diceras suprajurense, Exogyra Bruntrutana, Goniolina geometrica.

2° Calcaires lithographiques supérieurs :

D. Calcaires à Pinna obliquata (22 mètres), avec Amm. Achilles.

E. Calcaires compactes (8 mètres), pauvres en fossiles, avec quelques Pinna.

(1) *Geol. Society*, 13 janv. 1875.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 93.

3° Calcaire crayeux (F. 2 mètres) ou pierre du Château, Terebratula cincta, Rhynchonella pinguis et tous les oursins naires du corallien.

4° Calcaires lithographiques inférieurs (G. 8 mètres) avec ammonites. Vers la base, près de Châteauneuf-sur-Cher, trouve les Amm. Marantianus et A. Eucharis.

5° Marnes et calcaires à spongiaires.

H. Calcaires à spongiaires (4 mètres), avec Ammonites Marantianus, A. bimammatus, A. perarmatus, Cidaris coronata.

I. Marnes à spongiaires (10 mètres), remplies d'immenses spongiaires, avec Belemnites Royeri, Ammonites canaliculatus, flexuosus-costatus, plicatilis-convolutus, Terebratula Stockari, Megerlea pectunculus, Cidaris coronata, C. aspera, etc.

6° Marnes à Ammonites pyriteuses.

J. Marnes à rognons (2 mètres), avec Amm. plicatilis, A. cordatus.

K. Marnes (8 mètres), avec rares ammonites deformées.

Dans la vallée de la Loire, les calcaires à spongiaires (H) sont remplacés par l'oolithe de la Charité, à Diceras arietinum et des calcaires marneux et lithographiques.

Ce même étage serait représenté dans l'Yonne par le corallien de Châtel-Censoir et le calcaire à Chailles supérieur de Druyes, et dans la Haute-Marne par les calcaires et marnes à Ammonites Marantianus, avec calcaire grumeleux intercalé, à Cidaris florigemma.

Les assises 2, 3, 4, 5 H, appartiendraient au corallien, l'assise 5 I à l'argovien, et l'assise n° 6 à l'oxfordien.

HAUTE-MARNE. — MM. Tombeck et Royer (1) reconnaissent les zones suivantes dans l'oxfordien et le callovien de la Haute-Marne.

Oxfordien.	1° Argile à Ammonites pyriteuses (A. cordatus, A. plicatilis, A. Babeanus, A. crenatus).
	2° Marnes à Amm. perarmatus.
Callovien. .	3° Calcaires marneux fissiles à Amm. Lamberti et A. athleta.
	4° Calcaires marneux à Amm Jason.
	5° Marnes ferrugineuses à Amm. coronatus et A. anceps.
	6° Marnes ferrugineuses à A. macrocephalus.

RÉGION FRANCO-SUISSE. — M. Bayan (2) a publié une note sur le jura supérieur. L'auteur établit d'abord que la zone à Ammonites bimammatus est corallienne et que les couches à Amm. tenuilo-

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 22.
(2) *Bull. Soc. geol.* [3], II, 316.

batus, qui la surmontent, représentent l'astartien, dont elles contiennent les fossiles à Oberbuchsiten. Contrairement à M. Falsan, il place dans le ptérocérien les couches comprises entre la zone à A. tenuilobatus et celle à Ostrea virgula.

M. Bayan insiste sur ce fait, que les récifs coralliens croissent plus vite que les dépôts sédimentaires environnants, en sorte qu'il n'est pas étonnant de les trouver recouverts par des assises beaucoup plus jeunes, avec absence des dépôts intermédiaires. Le corallien de Valfin, comme celui du Salève, serait un récif de l'astartien ou du ptérocérien. Il en serait de même de l'oolithe de la Mothe, dans la Haute-Marne.

L'auteur rappelle que toutes les couches oolitiques et coralliennes présentent dans leurs faunes des formes analogues : de même pour les couches marneuses; mais, au milieu de ces faunes semblables se trouvent des espèces localisées. Ainsi les genres Itieria et Columbellaria seraient spéciaux au facies corallien du jura supérieur. Il en est de même du Cidaris glandifera et de plusieurs nérinées.

JURA NEUFCHATELOIS.— M. de Tribolet (1) a constaté que, dans plusieurs localités du Jura neufchâtelois, les deux sous-étages du callovien, la zone à Amm. macrocephalus et celle à A. ornatus ne sont pas stratigraphiquement distincts, mais qu'il y a mélange intime des deux faunes.

Le même auteur a signalé la présence des marnes à homomyes ou à Ostrea acuminata près de la Chaux-de-Fonds. Jusqu'alors, ces marnes, bien développées dans le Jura bernois, n'étaient connues aux environs de Neufchâtel que par le gisement du tunnel des Loges.

ARGOVIE. — M. Mœsch (2) a publié un important travail sur le jura supérieur de l'Argovie.

L'étage kimméridien apparait au nord-est, à Däniken; de là il continue par Aarburg, Wangen et Oberbuchsiten et change peu à peu de facies en prenant la faune dite des couches de Baden. La nombreuse série d'ammonites qui caractérise cette faune n'est encore représentée à Aarburg que par les Ammonites iphicerus, A. involutus, A. polyplocus, A. Lothari. A Engelberg, il n'y a plus que des traces du Cidaris coronata. En revanche on voit apparaître à Wangen les Hemicidaris diademata et Collyrites trigo-

(1) *Bull. Soc. sc. nat. de Neuchâtel*, 1875.
(2) *Beitræge zur geol. Karte der Schweiz.* — Berne, 1874.

nalis. La Terebratula humeralis remplace les nombreux brachiopodes de la Souabe et les spongiaires manquent complétement. Le changement pétrographique n'est pas moins visible; la proportion d'argile diminue; le calcaire, grenu à Wangen, devient oolithique à Oberbuchsiten, et à Oensingen, il a déjà acquis le facies typique de l'astartien.

M. Moesch pense que le portlandien pourrait être représenté par l'oolithe d'Hättingen et par celles de Schnaitheim et de Nattheim.

Le corallien oolithique type, depuis longtemps connu dans les cantons de Berne et de Soleure, s'étend presque sans altération jusqu'aux environs d'Oberbuchsiten, de Waldenburg et de Bretzwyl. A partir de là, en continuant vers le nord, le caractère des dépôts change complétement. Les oolithes disparaissent et, avec elles, les gastéropodes, les échinodermes et les polypiers. A leur place apparaissent de nombreuses ammonites et des myaires, notamment des pholadomyes.

L'oxfordien se divise en :

d. Couches à Hemicidaris crenularis (terrain à Chailles). On n'y trouve guère qu'une seule ammonite, l'Amm. bimammatus.

c. Couches du Geissberg, calcaires à pholadomyes.

b. Couches d'Effingen, argile à Terebratula impressa.

a. Couches de Birmensdorf, à Ammonites cordatus, A. tenuiserratus, A. Martelli, Scyphies; à la base est une argile fauve à Ammonites sulciferus et A. curvicosta, et le tout repose sur le callovien.

MONT LÉPINE. — M. Ebray (1) a reconnu au mont Lépine, à 4 kilomètres du Lémenc, la présence des calcaires kimméridiens lithographiques de Cirin avec Zamia. Cet étage est surmonté par une assise puissante de calcaire contenant les fossiles du portlandien du Bugey, séparée du valanginien à Pygurus rostratus par des calcaires argileux correspondant aux couches de Purbeck.

LÉMENC. — M. Pillet (2) a donné la coupe de la colline de Lémenc, près de Chambéry. On y observe, à la base, le calcaire à Ammonites tenuilobatus et A. polyplocus; immédiatement au-dessus : les calcaires de Rogoznick avec Terebratula diphya; enfin au sommet, une couche pétrie de spongiaires, coraux, échinodermes, marnes, térébratules, qui semblent tous appartenir au

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 259.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 386.

jurassique supérieur de la France et de l'Allemagne. Au-dessus viennent les marnes de Berrias.

La description des fossiles du Lémenc a été faite par M. de Fromentel.

CRUSSOL. — M. Huguenin (1) considère la zone à Ammonites tenuilobatus de Crussol comme appartenant à l'étage corallien. Cette zone repose sur des calcaires à Amm. bimammatus, superposés à l'oxfordien inférieur. Elle contient les Ammonites tenuilobatus, A. flexuosus-costatus, A. iphicerus, A. Holbeini, A. Lothari, A. trachynotus, A. compsus, A. subfascicularis, etc. Belemnites canaliculatus, Aptychus latus, A. imbricatus, Terebratula nucleata, Rhynchonella sparsicosta, Collyrites carinata, Cidaris cervicalis. L'auteur indique la distribution de ces fossiles dans les onze lits successifs de la carrière Mallet. Il pense que le onzième banc, le plus élevé, correspond aux calcaires du Pougin avec Ammonites ptychoïcus et Térébratules trouées.

DAUPHINÉ. — *Gypse callovien.* — M. Lory (2) a signalé des gisements de gypse formant des lentilles entre l'oxfordien et le callovien des environs de Gap. L'un de ces gisements est situé vers Ventavon. Il a 100 mètres d'épaisseur et est couronné de cargneules. L'autre s'observe à Saint-Genis. Il a 50 mètres de puissance et est intercalé entre deux assises de dolomie. Ce gypse callovien est plus cristallin que celui du trias ; on n'y observe pas d'anhydrite.

NORD-OUEST DE L'ALLEMAGNE. — M. D. Brauns (3) a publié le dernier cahier de ses études sur le jura supérieur dans le nord-ouest de l'Allemagne. Il distingue les assises suivantes :

7. Couches de Purbeck.
6. Couches à Ammonites gigas.
5. Assises Kimméridiennes supérieures.
4. — moyennes.
3. — inférieures.
2. Couches à Cidaris florigemma ou oolithe corallienne.
1. Couches à Amm. perarmatus.

Suivant M. Brauns, la partie supérieure du jura est susceptible d'un double facies.

D'un côté, il y a changement progressif des formations, et le

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 519.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 17.
(3) *Braunschweig*, 1874. — *Neues Jahrb.*, 1874, 656.

wealdien succède sans lacunes apparentes au jurassique; dans ce cas, le valanginien n'est pas représenté.

De l'autre, et plus spécialement à l'est, il se produit, avant la fin du jura supérieur, une lacune dans la sédimentation.

M. Brauns a joint à ce cahier la description des mollusques de l'étage.

HANOVRE. — M. Struckmann (1) a signalé la découverte à Ahlem, près de Hanovre, d'un calcaire en plaquettes, bitumineux, très-fossilifère, immédiatement recouvert par des couches asphaltifères, néocomiennes, à Belemnites subquadratus, et contenant les Corbula inflexa, Gervillia lithodomus, Cyprina Brongniarti, Cyrena rugosa, Corbula alata, Trigonia gibbosa, c'est-à-dire les fossiles du portlandien supérieur. La série du jura blanc de Hanovre peut donc être établie ainsi qu'il suit pour *Ahlem*, *Lindenerberg* et Mönkeberg :

Portlandien supérieur. — Calcaire en plaquettes d'Ahlem à Corbula inflexa.

Portlandien inférieur. — Marnes bigarrées d'Ahlem à Pinna granulata, Cyrena rugosa, Cyprina nuculæformis, Ostrea multiformis, sauriens et tortues.

Kimméridien supérieur. — Couches supérieures à Ptérocères avec Corbula Mosensis et Exogyra virgula.

Kimméridien moyen. — Couches à Ptérocères. Zone à Nerinea obtusa et Pteroceras Oceani.

Kimméridien inférieur. — Couches à Natica globosa et Nerinea tuberculosa.

Oolithe corallienne. — 3. Couches à Terebratula humeralis.

2. Couches à Pecten varians.

1. Banc corallien et couches à Cidaris florigemma.

Oxfordien à Ammonites cordatus et Gryphæa dilatata.

TERRAIN CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

ANGLETERRE. — *Couches de Farringdon.* — M. Davey (2) a reconnu que les couches à spongiaires de Farringdon et de Coxwell appartiennent au néocomien supérieur. Elles contiennent les Terebratula oblonga, T. prælonga, T. tamarindus, Peltastes Wrighti, Trematopygus Davidsoni, Goniopygus delphinensis, Cidaris Farringdonensis.

Ces couches de Farringdon avaient été classées d'abord dans la craie supérieure ou maestrichtienne. M. Davey a d'ailleurs montré que les éponges elles-mêmes différaient de celles de Maestricht.

M. Keeping (3) est arrivé à la même conclusion par une voie

(1) *Neues Jahrb.*, 1874, 778.
(2) *Transact. of the Newbury Club*, 1874. — *Neues Jahrb.* 1874, 668.
(3) *Geol. Mag.*, 1875, 372.

différente. On sait qu'il existe, en divers points de l'Angleterre, à Potton dans le Bedfordshire, à Upware près de Cambridge, etc., des couches de nodules phosphatés, appartenant à l'étage néocomien et distingués des nodules noirs du gault et du grès vert par le nom, d'ailleurs impropre, de coprolithes rouges.

M. Keeping a observé un dépôt de cet âge à Brickhill, dans le Bedfordshire, à moitié chemin entre Upware et Farringdon. Les sables à nodules reposent sur l'oxford clay à Gryphæa dilatata et contiennent une faune nombreuse : Terebratula prælonga, T. depressa, T. sella, T. Seeleyi, Waldheimia pseudojurensis, Terebratella oblonga, Rhynchonella Cantabridgiensis, R. Upwarensis, R. depressa, R. latissima, Ostrea macroptera, Lima Farringdonensis, L. Dupini, Cidaris Farringdonensis. En outre, on y trouve des Ammonites biplex en échantillons roulés, évidemment empruntés aux couches kimméridiennes.

Cette faune établit une liaison intime entre le dépôt d'Upware et les couches à spongiaires de Farringdon. Si les spongiaires font défaut à Brickhill, c'est que ces animaux n'ont pu se développer qu'au voisinage des calcaires tels que le coral rag de Farringdon et le récif corallien d'Upware.

A Potton, les sables néocomiens à nodules contiennent des fossiles du portlandien et du wealdien, tels que l'Endogenites erosa.

Yorkshire. — M. Blake (1) a vérifié la présence des Ammonites Deshayesi et Belemnites minimus dans la *craie rouge* du Yorkshire. Cette couche repose sur des conglomérats et des sables ou grès bariolés que l'auteur rapporte au terrain crétacé inférieur. Selon lui, ces derniers dépôts ont un caractère littoral et correspondent au comblement opéré dans les inégalités du sol jurassique avant la période d'enfoncement qui a vu se produire, dans des mers profondes, les dépôts réguliers de la craie. La *craie rouge* serait bien l'équivalent du gault, ainsi que cela est admis déjà pour la *craie rouge* de Hunstanton (2).

Folkestone. — *Gault.* — Le Gault de Folkestone, déjà étudié par M. de Rance (3), a été l'objet d'un nouveau travail détaillé de la part de M. Price (4). Comme M. de Rance, l'auteur reconnaît, dans cet étage, onze subdivisions ou zones, géné-

(1) *Geol. Mag.*, 1874, 362.
(2) *Revue de géologie*, IX, 122.
(3) *Revue de géologie*, VIII, 112.
(4) *Geol. Society*, 29 avril 1874. — *Geol. associat.*, 5 juin 1874.

ralement caractérisées par des ammonites. L'épaisseur totale de a formation, à Copt Point, est de 31 mètres. On peut la diviser en deux séries. La série supérieure est formée, en haut, d'une assise marneuse de 15 mètres d'épaisseur, donnant à l'analyse 26 p. 100 de carbonate de chaux et où l'on observe, à 5 mètres du sommet, une veine de sables verts avec nodules qui paraissent avoir la structure spongiaire. En bas se trouve une argile avec des brachiopodes et des ammonites du groupe des cristati. La partie inférieure est caractérisée par l'abondance de l'Inoceramus sulcatus

Le gault inférieur, séparé de la série supérieure par un lit de nodules avec couches de passage, a 8 mètres d'épaisseur. Presque toutes ses ammonites appartiennent aux groupes des Dentati et des Tuberculati. Sa base est formée par une ligne de nodules pyriteux avec Ammonites interruptus.

Sur 247 espèces du gault de Folkestone, 24 sont spéciales à l'étage inférieur, 57 à l'étage supérieur, 46 sont communes aux deux et 20 appartiennent en propre à la couche de passage. M. Price ne comprend pas dans le gault la couche de grès vert à Ammonites mammillatus, qui forme la partie supérieure des *Folkestone beds*.

MM. Price et Gardner ont découvert dans le gault de Folkestone des cônes appartenant à deux espèces de Sequoia; ce sont les plus anciens du genre et on les trouve associés avec des espèces de pins dont les analogues n'existent plus aujourd'hui que dans les montagnes de l'Amérique occidentale, justement en compagnie des genres vivants de Sequoia. Il est remarquable que cette association, de nos jours encore caractéristique, se soit ainsi manifestée dès la première apparition du genre Sequoia. M. Carruthers (1) a fait observer que c'est la première fois, dans l'histoire de la terre, qu'on voit intervenir la distribution géographique des plantes.

M. A. Bell (2) a signalé la découverte, dans le gault de Folkestone, d'une hélice, analogue à l'Helix nemoralis, qu'il propose d'appeler Helix Woodwardi. Ce serait la première coquille terrestre connue dans les dépôts secondaires de l'Angleterre.

Bassin franco-belge. — *Aachénien.* — On sait que Dumont a décrit en Belgique, sous le nom d'*aachénien*, un système de

(1) *Geol Mag*, 1874, 376.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 240.

dépôts formés de sables et d'argiles lignitifères, que ce savant géologue plaçait sur l'horizon du terrain néocomien. M. Gosselet (1) pense que cette formation doit être classée dans le gault. MM. Cornet et Briart (2) ont émis l'opinion que l'aachénien résulte d'une décomposition superficielle des terrains anciens, opérée depuis la fin de l'époque houillère jusqu'au commencement du dépôt de la craie. De son côté, M. de Lapparent (3) frappé de l'analogie des couches aachéniennes avec les sables et argiles du Bray, pense qu'il convient d'en revenir à l'opinion de Dumont. Enfin la question a été également traitée par M. Barrois (4) qui, après avoir montré que plusieurs des dépôts aachéniens de la région franco-belge appartiennent à la zone à Ammonites mammillaris, notamment ceux des environs d'Hirson et d'Aubenton, conclut cependant en faveur de l'hypothèse de MM. Cornet et Briart.

Bassin parisien. — *Gault et aptien.* — M. Barrois (5) a suivi l'étage du gault sur toute la ceinture orientale du bassin parisien, depuis le Pas-de-Calais jusqu'au Morvan. Contrairement à l'opinion acceptée jusqu'ici, l'auteur comprend dans le gault, sous le nom de sous-étage aptien, une partie au moins des marnes à plicatules, qu'il incorpore aux sables verts ou ferrugineux à Ammonites mammillaris, tandis que l'albien se réduirait à l'argile avec Amm. interruptus. C'est encore au sous-étage inférieur que M. Barrois rapporte le minerai de fer de Grandpré avec Amm. Milletianus, Terebratula prælonga, etc., et le grès ferrugineux de la Nièvre avec Amm. Milletianus, A. tardefurcatus, Rhynchonella sulcata.

M. Barrois se fonde sur l'impossibilité d'établir une division au milieu des *Folkestone beds* des Anglais, entre le grès à Amm. mammillaris et les grès glauconieux à grandes huîtres. Cette difficulté est incontestable : mais il n'est pas moins difficile de subdiviser l'aptien. La seule conséquence qu'on en puisse légitimement tirer, c'est que les questions d'accolade sont fort secondaires, depuis que les travaux géologiques, en se multipliant, amènent partout la découverte de zones de passage avec facies et faunes mixtes.

---

(1) *Soc. géol. de France, réunion de Mons*, 1874.
(2) *Id.*
(3) *Id.*
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 257.
(5) *Soc. géol. du Nord*, II, 1.

BASSIN PARISIEN. — *Gaize.* — D'après M. Barrois (1), la gaize ou zone de l'Ammonites inflatus, que M. Ebray rapporte, avec d'autres observateurs, au gault supérieur et que divers géologues considèrent comme une zone de passage, appartiendrait à la base de la craie glauconieuse et serait même en discordance avec la zone albienne à Ammonites interruptus. L'auteur a reconnu l'horizon de la gaize dans la Puisaye, où il est formé par des marnes argileuses avec bancs d'ocre, contenant Amm. inflatus, Inoceramus sulcatus, dans le Perthois, où il existe sous la forme de marne argileuse gris noirâtre à Inoc. sulcatus. Des bancs de gaize siliceuse y sont subordonnés et deviennent alors prédominants dans l'Argonne. Au Nord de cette région, la gaize se retrouve dans l'argile de la Malmaison, la roche siliceuse du pays de Rethel et la meule de Valenciennes.

Nous ferons observer, contrairement à l'opinion de M. *Barrois*, que l'un des fossiles les plus constants de la gaize, l'Inoceramus sulcatus, est une espèce du gault de Folkestone, qui n'a jamais été rencontrée dans la craie glauconieuse. Quant à la discordance signalée par M. Barrois, nous ne pouvons lui attribuer une réelle importance, car une discordance du même ordre existe entre la gaize et le tourtia, ce dernier reposant bien souvent seul sur le terrain ancien.

HAUTE-MARNE. — *Fer oolithique.* — M. Cornuel (2) a décrit les fossiles d'eau douce du fer oolithique situé dans le néocomien supérieur de la Haute-Marne. Ces fossiles appartiennent aux genres Paludina, Paludestrina, Cyclas, Unio. Avec eux, on trouve des Sequoia, des pins et autres végétaux.

La présence de ces fossiles d'eau douce dans le néocomien supérieur, tandis que la couche rouge de Wassy, qui recouvre le fer oolithique, est riche en fossiles marins, paraît à M. Cornuel une justification de la classification qu'il a adoptée en plaçant la couche rouge à la base de l'aptien, car son dépôt a été précédé d'un temps d'arrêt dans la sédimentation, suivi d'une oscillation en sens inverse de la précédente. L'auteur établit d'ailleurs que la considération de ces oscillations secondaires est le seul moyen de créer des sous-étages rationnels, car, si l'on envisage les faunes, l'ensemble du néocomien et de l'aptien doit former un tout non susceptible de division.

(1) *Soc. géol. du Nord*, II, 1.
(2) *Bull. Soc. géol.* (3), II, 371.

Haute-Marne. — *Gault.* — M. Tombeck (1) a signalé la présence, à Montiérender, d'un lambeau de gault supérieur, formé par une argile grise plastique qui contient les fossiles de Wissant et de Folkestone, Ammonites splendens, A. auritus, Turrilites catenatus, Hamites rotundus, plus quelques espèces du gault inférieur, Amm. Deluci, A. denarius, Nucula pectinata, Inoceramus concentricus. Quant au gault inférieur, c'est également une argile plastique, épaisse de 20 à 30 mètres, qu'on observe à Perthes, Valcourt, Eclaron, Voillecomte, Moëlains et qui contient les Amm. mammillaris, A. Lyelli, A. Deluci, A. denarius, Belemnites minimus, Nautilus Clementinus, Cerithium trimonile, Dentalium decussatum, Inoceramus concentricus, I. Salomoni, Nucula pectinata, N. bivirgata, Trigonia Fittoni.

Côte-d'Or. — *Gault à nodules.* — M. J. Martin (2) a découvert des nodules de phosphate de chaux dans un sable dépendant du gault de la Côte-d'Or, à Asnières, Bretigny et Marsannay-le-Bois. Ces nodules contiennent environ 40 p. 100 de phosphate de chaux et sont associés aux Ammonites Archiaci, Janira albensis, Plicatula radiola, Ostrea arduennensis. M. Martin signale l'isolement complet du gault de la Côte-d'Or. Reposant directement sur le portlandien, il est constitué, à sa base, par les couches à nodules et à Amm. Milletianus, au sommet par des argiles versicolores avec Amm. splendens, et la craie turonienne le recouvre sans intermédiaire.

Quant à l'origine des nodules, M. Martin est porté à l'attribuer à l'influence des sources thermales.

Savoie. — M. Didelot (3) a trouvé une mâchoire de Pycnodus dans la couche à ammonites des environs d'Aix en Savoie. Cette couche, intercalée au milieu des calcaires jaunes a Ostrea Couloni et Toxaster complanatus, contient, d'après M. Pillet (4), les Belemnites dilatatus, B. subfusiformis, Ammonites Leopoldinus, A. radiatus, A. Astierianus, A. Castellanensis, etc., avec une quantité d'autres fossiles. M. Didelot donne à son espèce nouvelle de Pycnodus le nom de P. heterodon.

---

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 49.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 273.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 237.
(4) *Description géologique des environs d'Aix*, 1869.

TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

BEER-HEAD. — M. J. A. Meyer (1) a décrit les dépôts crétacés de Beer-Head et des falaises voisines, qui constituent les derniers affleurements vers l'ouest de la craie d'Angleterre. A la base de la série, l'auteur signale des couches qu'il identifie avec celles de Blackdown et qui occupent une position intermédiaire entre le gault ou néocomien, d'une part, et le grès vert supérieur, d'autre part. Au contraire, les couches de Warminster couronnent le grès vert supérieur et appartiendraient en réalité à la marne glauconieuse (*chloritic marl*) que l'auteur croit devoir distinguer du grès vert supérieur, ce dernier terme devant être réservé aux couches comprises entre le gault et la craie glauconieuse.

CAMBRIDGE. — *Couches à nodules.* — M. Jukes Browne (2) a cherché à déterminer la véritable position de la couche à nodules de Cambridge. Cette couche, constituée par un grès vert, passe en haut au *chalk marl;* en revanche, elle repose en discordance sur l'argile du gault, dont ses nodules et ses fossiles sont originaires. En outre, M. Browne a constaté qu'à côté des fossiles roulés, le grès vert de Cambridge possède en propre des espèces qui sont les mêmes que celles du chalk marl.

Il existerait donc, entre le gault inférieur et le chalk marl de Cambridge, une grande lacune correspondant à l'ensemble du gault supérieur et du grès vert supérieur (c'est-à-dire de la gaize).

HAMPSHIRE. — M. Barrois (3) distingue, dans le terrain de craie du Hampshire, les assises suivantes :

1° *Craie blanche.*

C. Assise de Studland-Bay à Belemnitella mucronata, Magas pumilus, Cardiaster Heberti.

B. { Zone de Brighton à Marsupites, Belemnitella vera, B. Merceyi.
Zone de Beachy-Head à Micraster coranguinum, Echinoconus conicus.

A. { Zone de Stockbrige à Micraster cortestudinarium, Holaster placenta.
Zone de Stapleford à Micraster breviporus, Holaster planus, Scaphites Geinitzi (*chalk rock*).

2° *Craie marneuse.*

Zone de Winchester à Terebratulina gracilis, Pinna decussata, Echinoconus subrotundus.

Zone de Beer à Inoceramus labiatus, Rhynchonella Cuvieri.

(1) *Geol. Society*, 29 avril 1874.
(2) *Geol. Society*, 13 janv. 1875.
(3) *Soc. géol. du Nord*, II, 85.

3° *Craie glauconieuse.*

Zone à Holaster subglobosus.
- 3. Niveau de Wilsham à Belemnites plenus.
- 2. Niveau d'Alton à Holaster subglobosus.
- 1. Niveau d'Eastbourne à Placoscyphia meandrina.

Zone de Warminster à Pecten asper (*chloritic marl*), assise de Devizes à Ammonites inflatus, A. Renauxianus, Vermicularia concava (*upper green sand*).

ILE DE WIGHT, — M. Barrois (1) a étudié la craie de l'île de Wight, où il reconnaît, du haut en bas, les divisions suivantes :

Craie à bélemnites (80 mètres) avec Bel. mucronata, B. quadrata, Ostrea vesicularis, Magas pumilus, Micraster Brongniarti, Echinocorys ovatus.

Craie à Micraster coranguinum (160 mètres), avec Echinocorys gibbus, E. conicus, Cidaris serrata, etc.

Craie à Micraster cortestudinarium (50 mètres), très-riche en silex, avec les fossiles ordinaires de ce niveau.

Craie blanche à Holaster planus (20 mètres), c'est le *chalkrock* de M. Whitaker, avec Micraster breviporus et M. corbovis.

Craie marneuse à Terebratulina gracilis (20 mètres), avec nodules un peu phosphatés au sommet.

Craie marneuse à Inoceramus labiatus (40 mètres).

Craie glauconieuse à Scaphites æqualis (35 mètres). C'est le *grey chalk*.

Glauconie à Ammonites laticlavius (2 mètres) (*chloritic marl*).

Grès vert supérieur (*upper green sand*), à Amm. inflatus, Ostrea vesiculosa, Pecten orbicularis. Son épaisseur est de 50 mètres : c'est le niveau de la gaize.

M. Barrois a également donné une carte géologique détaillée du massif crétacé septentrional de l'île de Wight, sur laquelle il a figuré toutes les divisions qui viennent d'être indiquées.

Dans les coupes jointes à ce travail, M. Barrois a représenté, à l'échelle du 10.000°, la disposition du terrain de craie en divers points, où la craie à bélemnites plonge sous des angles de 70 et de 80°, l'inclinaison des couches inférieures étant beaucoup moindre et comprise entre 35° et 50°.

Le massif crayeux est divisé en trois parties, une centrale assez large et deux zones latérales très-resserrées, et à peu près parallèles l'une à l'autre. Entre la zone médiane et les deux autres, il y a des failles : celle de l'est, où coule la Medina, est connue depuis longtemps. M. Barrois donne les motifs qui lui font croire à une faille semblable à l'ouest, où elle se signalerait en faisant naître une source à Calbourn-Bottom.

DOUVRES, FOLKESTONE. — M. Hébert (2) a indiqué la succes-

(1) *Soc. géol. du Nord*, I, 74, et *Biblioth. de l'École des Hautes Études*, XIII, n° 2.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 416.

sion des couches crétacées de Folkestone à Saint-Margaret, en faisant connaître la correspondance des assises distinguées par les géologues anglais avec celles du bassin de Paris. Cette correspondance est résumée par le tableau suivant :

1. Craie à Micraster coranguinum (craie de Margate, en partie, et craie de Saint-Margaret).
2. Craie à M. cortestudinarium } craie avec beaucoup de silex et nombreux fossiles.
3. Craie à Holaster planus. . . }
4. Craie à Inoceramus labiatus { craie avec un peu de silex. craie sans silex avec nombreux fossiles. craie sans silex avec peu de fossiles.
5. Craie glauconieuse (chalkmarl, greychalk, upper green sand).

M. Hébert continue à admettre que le chalk marl et le grey-chalk équivalent aux zones à Holaster subglobosus et Scaphites æqualis et qu'il y a dans le nord une lacune correspondant au dépôt des sables du Perche. En outre, il assimile le *chloritic-marl* au grès vert supérieur, tandis que les géologues anglais sont aujourd'hui d'accord pour rechercher l'équivalent de cette assise dans les couches supérieures du gault de Folkestone.

Belgique. — *Système hervien.* — MM. Cornet et Briart (1) ont constaté que le système *hervien* de la province de Liége, formé de couches argileuses plus ou moins glauconifères, repose sur un poudingue qui contient les Belemnitella quadrata, Ostrea vesicularis, Spondylus spinosus. Entre Herve et Verviers, à la Croix-Polinard, ce même conglomérat contient, avec la Belemnitella quadrata, la B. mucronata. Donc les dépôts argileux du pays de Herve, smectiques et psammites glauconifères, ne sont pas, comme le croyait Dumont, synchroniques de la meule et du tourtia de Tournai; mais ils correspondent à la craie blanche moyenne du Hainaut, et spécialement à l'assise dite craie de Nouvelles (2).

La faune des couches herviennes à la Croix-Polinard a d'ailleurs fait l'objet des recherches de MM. Rutot et de Looz (3), qui ont recueilli des dents de reptiles, des débris de poissons et de crustacés, une foule de gastéropodes et de lamellibranches, et quelques restes de végétaux.

Mons. — MM. Briart et Cornet (4) ont décrit sous le nom de

(1) *Soc géol. de Belgique.* Mém. II, 108.
(2) *Revue de géologie*, XI, 128.
(3) *Soc. géol. de Belgique*, II, LXXV.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 558.

craie de Maisières, une craie glauconifère, épaisse de 3 mètres, qui représente l'assise des *Gris* des mineurs de Mons et qui contient les Ptychodus latissimus, Oxyrhina Mantelli, Ostrea lateralis, O. flabelliformis, O. larva, spondylus spinosus, Terebratulina gracilis.

Cette assise repose sur 4m,50 de silex gris compacte. C'est le banc dit des *Rabots*, au-dessous duquel viennent les fortes toises avec Spondylus spinosus, Ostrea sulcata, Ostrea flabelliformis, O. lateralis, et enfin les dièves à Inoceramus labiatus.

A Maisières, les dièves recouvrent directement le crétacé inférieur par l'intermédiaire d'un lit à galets qu'on prendrait pour le tourtia. Mais ce dernier, caractérisé par le Pecten asper, ne commence à se montrer qu'à Bernissart, entre la meule et les dièves.

Pas-de-Calais. — M. Barrois (1) a suivi le fonçage du puits Sainte-Pauline dans la concession de Liévin. Voici les assises de la craie qui ont été traversées :

De la surface à 56m,75	craie blanche avec Micraster.
83 ,50	craie marneuse à Terebratulina gracilis.
97 ,86	dièves à Inoceramus labiatus.
120 ,58	dièves vertes.
131 ,03	dièves grises à Amm. rotomagensis.
141 à 149	tourtia de Mons à Pecten asper.
149 à 152	tourtia de Montignies à Terebratella Menardi, Ostrea carinata, O. haliotidea, schistes houillers.

Cotentin. — MM. G. Dollfus et Vieillard (2) ont étudié le terrain crétacé du Cotentin. A la base est un grès vert que les auteurs placent dans le cénomanien. Puis vient le calcaire à baculites, dont la faune comprend 300 espèces. Les fossiles les plus abondants sont : Scaphites constrictus, Baculites anceps, Ammonites Gollevillensis, Trigonia echinata, Ostrea vesicularis, O. lateralis, Caratomus avellana, Nucleolites coravium, Rhynchopygus Marmini, Pentacrinus Agassizi, etc. On compte une centaine d'espèces de bryozoaires.

Ceinture orientale du bassin de Paris. — M. Barrois (3) a étudié les variations que présentent les étages turonien et cénomanien depuis le département du Nord jusque dans l'Yonne. Il reconnaît, dans cet ensemble : 1° un facies calcaire développé à la fois

(1) *Soc. géol. du Nord*, II, 63.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 460.
(3) *Annales de la Soc. géol. du Nord*, 1875, 145.

dans le Pas-de-Calais et l'Yonne; 2° un facies argileux qui domine dans tout l'Est.

Sur toute la ceinture du bassin parisien, le sommet de la craie marneuse ou turonienne est formé par la zone à Terebratulina gracilis. La zone à Inoceramus labiatus serait un peu moins constante et manquerait dans les Ardennes.

Le cénomanien a pour assise supérieure la zone à Belemnites plenus, que M. Barrois a suivie depuis le Nord jusqu'à Vitry. Sa plus grande épaisseur est de 20 mètres. Elle contient une faune comprenant 49 espèces cénomaniennes, 29 turoniennes et plusieurs spéciales à la zone. Les plus caractéristiques sont : Belemnites plenus, Ostrea Naumanni, Plicatula nodosa, Terebratulina rigida, Magas Geinitzi, Vermicularia umbonata.

Au-dessous de cette zone vient la craie à Holaster subglobosus, qui manque depuis Vitry jusque dans l'Aisne, couronnant la marne glauconifère à Pecten asper, le terme le plus constant de la série cénomanienne.

Midi de la France. — Dans un travail entrepris en commun avec M. A. Toucas, M. Hébert (1) a rectifié les indications qu'il avait données, dans une note précédente (2), au sujet de la position des grès d'Uchaux. M. Hébert admet que les grès de Mornas représentent un niveau qui manque en Touraine, mais que les grès d'Uchaux, situés par-dessous, correspondent bien à l'ensemble de la craie de Touraine, conformément au tableau suivant :

CRAIE DE TOURAINE.	GRÈS D'UCHAUX.
Craie à O. columba gigas et Ammonites Requienianus.	Grès à A. Requienianus et fossiles ferrugineux.
Tuffeau à Amm. papalis.	Grès à A. papalis.
Craie à Inoceramus labiatus.	Grès à A. nodosoïdes et In. labiatus.

Les grès d'Uchaux seraient séparés de la craie glauconieuse de Clansayes et de Bédouin par les grès de Mondragon, comprenant, au sommet, le grès à Ostrea columba et un grès à lignites, à la base le grès à Trigonia affinis.

En Provence, les couches synchroniques des grès d'Uchaux sont, d'après M. Hébert, les couches à Hemiaster Verneuili de la Bédoule. Or, M. Toucas (3) a trouvé, près de Toulon, entre ce ni-

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 465.
(2) *Revue de géologie*, XI, 130.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 457.

veau et celui du Radiolites cornupastoris, une faune d'oursins: Cidaris hirudo, C. pseudosceptrifera, Catopygus obtusus, Nucleolites parallelus, qui caractérise justement la craie de Touraine.

M. Coquand (1) a fait remarquer que, sauf ce qui concerne les grès d'Uchaux, qu'il avait placés un peu trop haut dans la série, les divisions établies par lui, dans la craie du Midi, se trouvent confirmées par les travaux de M. Hébert. Ainsi la zone à Inoceramus labiatus représente l'étage ligérien ; celles à Ammonites papalis et A. Requienianus l'étage mornasien et les calcaires à Radiolites cornupastoris sont l'angoumien.

Westphalie. — D'après M. Schlüter (2), la série des couches crétacées supérieures, depuis le bord méridional du bassin westphalien jusqu'au centre, comprend, du haut en bas, les assises suivantes :

12. Zone de l'Heteroceras polyplocum. } Couches à Belemnites mucronatus.
11. — de la Lepidospongia rugosa. }
10. — de la Becksia Soekelandi. . . } Couches à Belemnites quadratus.
9. { — du Scaphites binodosus. . . . }
9. { — de l'Inoceramus lingua. . . . }
8. — de l'Ammonites margæ.
7. — de l'Inoceramus Cuvieri.
6. — du Spondylus spinosus (Plæner à Scaphites).
5. — des Inoceramus Brongniarti et Amm. Woolgari.
4. — des Inoceramus labiatus et Amm. nodosoïdes.
3. — de l'Ammonites Rotomagensis.
2. — de l'Ammonites varians.
1. — des Pecten asper et Catopygus carinatus (Tourtia).

La couche n° 8, désignée par l'auteur sous le nom de marnes d'Emsch, constituerait l'assise de passage entre le turonien et le sénonien. L'auteur y signale les Ammonites Texanus, A. tricarinatus, A. tridorsatus, A. Westfalicus, Turrilites plicatus, T. tridens, T. varians, Inoceramus digitatus, I. cardissoïdes, I. involutus.

Dakota. — M. Lesquereux (3) a étudié les plantes fossiles du terrain crétacé de Dakota. D'après M. Hayden, cette formation se compose de grès jaunes, rouges ou blancs, alternant avec des argiles bariolées et des lignites impurs. Sa puissance atteint 130 mètres. Ce système paraît correspondre au turonien et au cénomanien. On y trouve 1 espèce de thallophyte, 6 de fou-

(1) *Bull Soc. géol.* [3], III, 265.
(2) *Verh. d. nat. Ver.* XXXI, 3. — *Neues Jahrb.*, 1875, 332.
(3) *Report of the U. S. geol. Survey of the Territories*, 1874. — *Americ. Journ.* [3], IX, 596.

gères, 8 conifères, 3 monocotylédonés et 101 espèces de dicotylédonés appartenant aux familles des amentacées, laurinées, protéacées, ombellifères, légumineuses, etc. Presque tous ces types existent encore aujourd'hui et caractérisent la flore de l'Amérique du Nord. En réalité, tous les principaux végétaux arborescents existaient déjà à l'exception de ceux qui ont des feuilles dentelées. La flore du groupe de Dakota est remarquable par les différences tranchées qu'elle présente avec celle des couches lignitifères. Les espèces européennes du même âge n'y sont pas représentées.

Limite entre le terrain crétacé et le terrain tertiaire.

AMÉRIQUE DU NORD. — *Lignites des montagnes Rocheuses et de Vancouver.* — Nous avons déjà signalé (1) le désaccord qui règne entre les géologues américains au sujet de l'âge des lignites de l'ouest. Les nouvelles publications de la commission géologique des Territoires, dirigée par M. Hayden, fournissent à cet égard des détails intéressants.

D'après M. Lesquereux, la flore crétacée du Dakota contenant déjà beaucoup de types tertiaires de l'Europe, la flore du groupe lignitifère de Fort-Union est tertiaire. Mais M. Cope, se fondant sur la présence, dans la faune de ce groupe, des sauroptérygiens et dinosauriens, ainsi que sur les caractères des crocodiles découverts dans ces parages, malgré quelques types de tortues éocènes, croit que cette faune est crétacée et mésozoïque. Il y a donc, au moins, désaccord entre la faune et la flore.

La même chose se produit pour ce qui concerne les territoires d'Utah, de Wyoming et de Colorado. D'après M. Meek (2), l'Inoceramus problematicus se rencontre à divers niveaux dans la formation lignitifère de ces contrées, sans jamais présenter aucun indice de remaniement. En outre, on y trouve une espèce de Gyrodes, une d'Anchura et une de Cyprimera, trois genres crétacés.

Cependant, à Bitter-Creek, la plupart des mollusques ont un aspect tertiaire, bien qu'on trouve aussi un type crétacé de reptile et une corbicule connue dans les couches saumâtres de la rivière Judith, au milieu d'une faune crétacée. Le gisement de Bitter-Creek est d'ailleurs intercalé, en parfaite concordance, en-

(1) *Revue de géologie*, XII, 184.
(2) *Americ. Journ.* [3], IX, 459.

tre une formation d'eau douce tertiaire et une autre formation sans charbon qui paraît être crétacée. Les végétaux du gisement sont tertiaires, à l'exception d'une plante marine, Halymenites, qu'on a trouvée dans l'Utah sous une série de couches crétacées.

Pour l'île de Vancouver, dont les lignites ont été rapportés par M. Lesquereux (1) à l'éocène inférieur, M. Selwyn (2) maintient que ce bassin appartient incontestablement au terrain crétacé, car il est recouvert par une série de grès, de schistes et de conglomérats, épaisse de plus de 1.200 mètres et contenant, de la base au sommet, des fossiles marins crétacés, tels que Ammonites, Baculites, Inocérames.

Il paraît donc nécessaire d'admettre comme définitif ce résultat, que, dans l'Amérique occidentale, *une flore tertiaire se développait en même temps qu'une faune crétacée.*

Il est vrai que M. Lesquereux (3), ne s'en considère pas moins comme fondé à ranger les lignites dans le tertiaire; il allègue qu'une formation de lignites est avant tout continentale, et qu'elle doit être envisagée et classifiée comme telle, c'est-à-dire que les caractères tirés de la flore doivent être pris en considération avant ceux qu'on peut déduire de fossiles marins, lesquels sont nécessairement à l'état d'exception.

TERRAINS NÉOZOÏQUES.

TERRAINS TERTIAIRES.

Éocène.

LIMBOURG BELGE. — La classification donnée par MM. Ortlieb et Chelloneix (4) pour les couches oligocènes du Limbourg belge associait, dans le même étage, la marne de Henis, ou tongrien supérieur de Dumont et les sables de Vieux Jonc ou rupélien inférieur. M. Mourlon (5) a rappelé que le motif qui avait

(1) *Report on the geol. Survey of Colorado*, 1873, 365.
(2) *Americ. Journ.* [3], IX, 308.
(3) *Americ. Journ.* [3], IX, 546.
(4) *Revue de géologie*, XII, 145.
(5) *Société malacol. de Belgique*, VIII.

conduit Dumont à établir une séparation entre ces deux ... était la présence, entre elles, d'une couche de cailloux r... avec traces de dénudation et que cet argument est de bien pe... poids quand on constate, avec M. Nyst, que des 49 esp... fluvio-marines de Hénis, 46 se retrouvent dans le rupélien i... férieur. L'auteur se range donc à l'avis de MM. Ortlieb ... Chelloneix.

Belgique. — *Bruxellien.* — M. Rutot (1) a observé, dans ... environs de Bruxelles, un sable calcareux avec de nomb... galets et beaucoup de dents de squales, situé entre l'yprésien ... périeur et le bruxellien. C'est précisément la position de la couch... à galets et dents de squales signalée par M. Hébert comme f... mant, dans le bassin de Paris, la base du calcaire grossier.

Le même auteur a établi que les fruits de Nipadites Burtini ... trouvent, non dans le lækenien, mais dans le bruxellien propre... ment dit. A Scharbeek même, des fruits sont associés à des ... ments de tortue et au Nautilus Lamarcki. Ils se trouvent dans ... grès calcarifère inférieur aux couches à Nummulites lævigata.

M. Ch. Lefèvre (2) a également trouvé des Nipadites dans l... grès lustrés immédiatement inférieurs au grès calcarifère d... Scharbeek.

M. Rutot (3) a étudié les grès fistuleux ou pierres de grottes d... bruxellien inférieur. Il y a reconnu des spicules d'éponges qui toutes se rapportent au genre Geodia. L'auteur pense que la plu... part des concrétions tubulaires observées dans les étages tertiaire... ont été également produites par des spongiaires.

, *Panisélien.* — MM. Cornet et Briart (4) pensent que le pani... sélien-type du mont Panisel, près de Mons, est distinct de cel... des environs de Morlanwelz ; tandis que ce dernier devrait êt... rapporté à l'yprésien, le premier se rapproche par ses fossiles d... calcaire grossier parisien. M. Nyst y a déterminé les Nautil... zigzag, Murex tricarinatus, Fusus longævus, Buccinum strom... boïdes, Voluta cithara, Pinna margaritacea, Modiola Deshaye... Cardium porulosum, Lucina gigantea, L. saxorum, Tellina pec... nacialis. La Nummulites planulata ne se montre qu'à la base d... l'assise et à l'état remanié.

---

(1) *Soc. géol. de Belgique.* Mém. I, 45.
(2) *Soc. géol. de Belgique.* Mém. II, 42.
(3) *Soc. géol. de Belgique.* Mém. II, 6.
(4) *Société géolog. de France.* — Réunion de Mons, 1874.

La manière de voir de MM. Cornet et Briart, conforme à celle de M. Dewalque, est opposée à l'opinion émise par M. Hébert (1), pour qui le panisélien est une dépendance de l'yprésien.

M. Van den Broeck (2), de son côté, a fait valoir les raisons pour lesquelles la Nummulites planulata rencontrée dans les sables panisélienss doit être considérée comme hors de sa place : d'abord tous les é hantillons sont usés ; ensuite ils sont rares, tandis que les nummulites se présentent toujours en grande abondance dans leurs gisements typiques : enfin ces foraminifères exigeaient une certaine profondeur d'eau et ne pouvaient vivre au milieu des sables grossiers du panisélien.

BASSIN FRANCO-BELGE. — *Eocène inférieur*. — M. Ortlieb (3) a proposé de réunir sous la dénomination d'argile des Flandres tout l'ensemble des systèmes heersien, landenien, yprésien et panisélien ; chacun d'eux ne serait qu'une phase déterminée d'une seule période géologique.

M. Gosselet (4) admet cette manière de voir (sauf en ce qui concerne le panisélien), en faisant remarquer que c'est la reconstitution du suessonien de d'Orbigny. Les sédiments sableux intercalés dans l'étage seraient surtout localisés vers l'ouest, du côté des collines de l'Artois.

Pour M. Gosselet, le heersien doit être réuni au landénien inférieur ou tufeau glauconieux à Pholadomya Konincki, P. cuneata et Cyprina Morrisi. Le landénien supérieur (sable d'Ostricourt) correspondrait à la partie supérieure des sables de Bracheux. Quant à l'yprésien inférieur (argile des Flandres proprement dite) il y aurait lieu d'y distinguer l'argile d'Orchies, équivalent des lignites du Soissonnais et l'argile de Roubaix, correspondant aux sables de Cuise.

Cependant MM. Potier et de Lapparent (5) sont d'avis de maintenir l'ancienne classification de Dumont, d'après laquelle le landénien supérieur représente l'étage des lignites du Soissonnais.

M. Potier (6) fait remarquer qu'en adoptant une autre solution, il faut imaginer, dans le bassin de Paris, entre les lignites et les sables de Cuise, une lacune correspondant à l'argile d'Ypres et,

(1) *Revue de géologie*, XII, 142.
(2) *Bull Soc. géol.* [3], II, 559.
(3) *Soc géol. du Nord*, I, 37.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 598.
(5) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 598.
(6) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 597.

dans le bassin belge, entre les sables glauconieux et l'yprésien, une autre lacune correspondant aux lignites. D'ailleurs, le fait que les sables blancs d'Ostricourt, très-développés au sud de l'Artois, cessent en Flandre, indique une certaine indépendance entre ces sables et le tufeau qui leur sert de base et qui s'étend beaucoup plus loin.

Glauconie de Cassel. — L'argile glauconifère du lækenien supérieur, qui couronne les buttes des environs de Cassel, n'a été pas encore été rencontrée à l'est de Bruxelles. Elle a été découverte récemment sur l'ancienne plaine des manœuvres par MM. Vincent et Th. Lefèvre (1). On constate, sur ce point, une association intime entre les fossiles du lækenien *inférieur*, Ditrupa strangulata, Pecten plebeius, $P_{\cdot}$ multistriatus, Ostrea gryphina, etc., et ceux du lækenien supérieur, Belosepia Blainvillei, Corbula pisum, C. Lamarcki, Pecten corneus, etc.

CASSEL. — D'après MM. Ortlieb et Chelloneix (2), l'éocène des environs de Cassel comprend les assises suivantes :

Sables de Cassel.	Sous-assise supérieure ou Lækenienne.	4. Argile glauconifère.
		3. Sables sans fossiles.
		2. Zone à Nummulites variolaria, Cerithium giganteum, Nautilus Zigzag.
		1. Zone de transport à oursins et à Terebratula Kickxi.
	Sous-assise inférieure ou Bruxellienne.	4. Grès à Numm. lævigata.
		3. Sables à fossiles friables et bancs à Cardita planicosta, etc.
		2. Sables blancs sans fossiles.
		1. Couches à Turritella edita.

Sable gris verdâtre à fossiles paniséliens.
Sable pyriteux à Nummulites planulata.
Argile des Flandres (150 mètres).

L'argile glauconifère avait été autrefois rapportée au miocène inférieur ou tongrien. Mais MM. Ortlieb et Chelloneix y ont recueilli les Cardium Edwarsi, Pecten Honi, Pecten corneus, Tellina plagia, Turritella brevis, fossiles caractéristiques des horizons les plus élevés du lækenien belge.

COTENTIN. — Le terrain éocène du Cotentin a été subdivisé par MM. Vieillard et G. Dollfus (3) en trois assises :

(1) *Soc. géol. de Belgique.* Mém. II, 206.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord,* 26 août 1874.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III. 460. — *Soc. linnéenne de Normandie.*

III. Calcaires à milioles.
- d. Calcaire géodique.
- c. Calcaire à Echinocyamus et Anomia.
- b. Calcaire à fossiles très-variés.
- a. Calcaire sableux à Modiola Gervillei.

II. Calcaire à Orbitolites de Fresville.
I. Calcaire noduleux à Échinides.

Le calcaire noduleux contient les Lamna elegans, Cardium porulosum, Pygorhynchus Desnoyersi, Echinolampas Defrancei.

Le calcaire à orbitolites est un véritable falun. L'Orbitolites complanata y est accompagné de fossiles rappelant le facies profond du calcaire grossier parisien.

DIJONNAIS. — *Conglomérat bréchiforme.* — D'après M. Jules Martin (1), le conglomérat bréchiforme, avec blocs polis et striés de la gare de Dijon, est distinct du conglomérat lacustre à Helix Ramondi, qui le recouvre. L'auteur est disposé à voir, dans le premier, un équivalent du flysch de la Suisse. Il rappelle que M. Heer, en décrivant le flysch, a insisté sur sa pénurie absolue en fait de fossiles, ainsi que sur la présence, dans cette formation, de blocs de granite et autres roches dont quelques-uns sont de très-grandes dimensions ; en sorte que M. Heer eût été disposé à y voir l'action de glaciers tertiaires, si des faits analogues avaient été connus dans d'autres contrées. Or, pour M. Martin, les faits constatés à Dijon et dans diverses parties du Piémont, démontrent l'existence de ces glaciers. M. Martin cherche en même temps à atténuer la valeur des indications fournies, relativement au climat des temps tertiaires, par le caractère tropical de certains végétaux. Mais en cela l'auteur nous paraît tomber dans cette erreur trop répandue, qui consiste à associer ensemble l'idée des glaciers et celle d'un climat froid, alors que la production de grandes masses de glace exige surtout une évaporation très-active combinée avec l'existence de condenseurs puissants.

AIN. — M. Benoit (2) a reconnu que le terrain sidérolithique se poursuit, dans le département de l'Ain, avec les mêmes caractères que dans le Jura. Il se compose de sables siliceux, de minerai de fer et d'argiles bigarrées. A mesure qu'on avance vers le sud, des sables siliceux se mélangent aux argiles et s'y substituent progressivement comme à la Perte du Rhône, à Pyrimont, à Seyssel et au Salève. De même que M. Greppin, M. Benoit attribue les

(1) *Mém. de l'Académie de Dijon*, 1874.
(2) *Bull. Soc. géol.* (3), III, 436

dépôts sidérolithiques aux actions geysériennes, et les range à la hauteur des gypses parisiens.

AQUITAINE.—M. Linder (1) a conclu, de l'étude d'une nombreuse série de coupes, que la mollasse du Fronsadais, comme l'avait indiqué M. Tournouër, est bien distincte du calcaire à astéries qui la recouvre, et que, avec les marnes argileuses, la mollasse à ostracés et le calcaire marin de Saint-Estèphe, elle forme un groupe synchronique de la mollasse d'eau douce des Ondes dans l'Agenais et séparant le calcaire lacustre de Blaye à grands paléothériens du calcaire d'eau douce de Castillon, Civrac et Condésaigues.

Le même auteur a suivi, avec soin, les sondages effectués à travers le terrain tertiaire inférieur dans la Gironde et le Lot-et-Garonne. Il n'admet pas que le calcaire grossier de Blaye puisse être divisé en deux étages : l'un à Echinolampas affinis; l'autre à E. stelliferus. La faune de ce calcaire présente une grande analogie avec celle des couches à Serpula spirulæa de Biarritz et de Bos d'Arros, depuis les grès à Eupatagus jusqu'aux calcaires du rocher du Goulet. Elle peut être caractérisée par les Échinolampas, la Scutella Caillaudi et la Terebratula tenuistriata. Au-dessous apparaissent des sables à nummulites et crinoïdes, reposant sur la craie par l'intermédiaire de marnes argileuses à lignite et silex roulés.

BIARRITZ.—M. de Bouillé (2) a étudié la répartition des fossiles dans la falaise de Biarritz. La détermination des espèces a été faite par M. Tournouër. Il résulte de cette étude qu'une partie au moins des couches à Serpula spirulæa doit être parallélisée avec le groupe de Priabona (Vicentin), comme l'a dit M. Suess.

En outre, le groupe à Nummulites intermedia de Biarritz correspond au groupe de la Marostica de M. Suess. Et les assises de la falaise du Phare, à Ostrea Brongniarti, Pholadomya Puschi, etc. doivent être rangées dans l'oligocène inférieur.

SUISSE. — *Grès de Taviglianaz.* — De même que M. Ernest Favre (3), M. de Tribolet (4) regarde le grès de Taviglianaz comme tertiaire. L'auteur a observé un gisement de ce grès dans le Kienthal (Alpes bernoises). Dans cette localité, le grès est intercalé

(1) *Soc. linnéenne de Bordeaux*, 1874.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 262.
(3) *Revue de géologie*, XI, 160.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 68.

entre deux grandes assises de flysch à Equisetum. Dans les Alpes de la Savoie et du canton de Vaud, le grès de Taviglianaz est situé entre le flysch et le terrain nummulitique : il y aurait donc lieu de distinguer deux horizons dans cette formation. Du reste, M. de Tribolet est porté à l'envisager comme un simple facies des schistes ou des grès compactes foncés.

LAC DE THOUNE. — M. de Tribolet (1) a signalé deux gisements de gypse dans le flysch, à Krattingen et Faulensee, près du lac de Thoune. L'attribution de ce gypse au terrain tertiaire ne serait pas douteuse et l'auteur pense que la même conclusion pourrait s'étendre à la zone gypseuse qui va du lac de Thoune à Bex.

ÉGYPTE. — Le calcaire nummulitique eocène des falaises de Mokattam, près du Caire, a fourni à M. Owen (2) les restes d'un mammifère sirénien nouveau, l'Eotherium ægyptiacum. En comparant le crâne de cet animal avec celui des autres siréniens connus, M. Owen en conclut qu'il y a un progrès continu dans l'organisation cérébrale de cette famille depuis son apparition dans le nummulitique égyptien jusqu'à nos jours.

COTENTIN. — MM. Vieillard et G. Dolfus (3) distinguent, à la base du miocène dans le Cotentin, l'argile de Rauville à Corbules, avec Cerithium plicatum. Cette argile contient 100 espèces fossiles, dont 35 sont déjà connues : sur ces 35, un tiers appartient aux sables de Beauchamp, les deux tiers se trouvent dans les sables de Fontainebleau. Les auteurs admettent que l'argile de Rauville correspond au gypse parisien.

Au-dessus vient la marne à Bythinia Duchasteli, avec lignites, couronnée par les calcaires et meulières à Potamides Lamarcki, que surmonte enfin le Falun à Bryozoaires de Saint-Eny, équivalent des faluns de Pontlevoy, de Saint-Juvat et de Rennes.

M. Tournoüer (4) a fait remarquer que, d'après ces résultats, la mer falunienne de l'Anjou a pénétré librement dans le Cotentin et a pu se relier par là à la mer du Nord, tandis qu'on n'a pas encore signalé, dans la Manche, le facies des dépôts tongriens à Natica crassatina de Rennes.

---

(1) *Vierteljährschr. naturf. Gesell. in Zürich*, 1874.
(2) *Geol. Society*, 18 nov. 1874.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 460.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 477.

AIN. — M. Benoît (1) distingue les assises suivantes dans le miocène du département de l'Ain.

BASSIN DE PARIS.	BASSIN DU RHÔNE ET DES USSES.
Faluns de la Touraine.	Mollasse sableuse. Bancs solides. Grès coquillier. Mollasse grise. Mollasse bleue. Conglomérat local.
Calcaire d'Orléans. . . . . Calcaire de Beauce. . . . . Meulière de Beauce.	Mollasse calcaire grumeleuse. Couches d'eau douce. Lignites.
Sables de Fontainebleau avec cailloux roulés.	Mollasse rouge. Lits de charriage.

La mollasse bleue contient les Turritella terebralis, Pecten scabrellus, Echinolampas scutiformis, etc. Dans la mollasse grise on rencontre les Pecten scabrellus, P. nisus, Ostrea crispata, O. gryphoïdes = crassissima, O. Virginiana.

Le flysch des Alpes serait l'équivalent des calcaires de Beauce. Les grès nummulitiques correspondraient aux sables de Fontainebleau. Quant aux calcaires nummulitiques, ils seraient très-inférieurs et représenteraient seulement l'éocène.

HESSE RHÉNANE. — M. Geyler (2) a étudié la flore des couches tertiaires de Stadecken-Elsheim dans la Hesse rhénane. Cette flore comprend les Arundo Goepperti, Myrica lignitum, M. acuminata, Alnus Kefersteinii, Carpinus grandis, Quercus Drymeia, Castanea atavia, Ficus lanceolata, Cinnamomum lanceolatum, C. Scheuchzeri, C. polymorphum, Apocynophyllum lanceolatum, Echitonium Sophiæ. Les genres Acer et Liquidambar font défaut. L'ensemble de cette flore la rapproche de l'aquitanien ; elle serait contemporaine de celle de Münzenberg en Wetteravie, et un peu plus ancienne que celle de Salzhausen.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 436.
(2) *Neues Jahrbuch* 1875 553.

ITALIE SEPTENTRIONALE. — D'après M. Théodore Fuchs (1), les couches de Schio (Vicentin), à échinides et pecten, correspondent exactement au miocène inférieur du Monte Titano et à celui de Dego, Calcane et Belforte. Ces dépôts sont l'équivalent de l'aquitanien de Mayer; ils se placent sur l'horizon des faluns de Bazas et de Mérignac en France, de la mollasse ancienne du versant nord des Alpes, et des grès à Pectunculus de Hongrie. Beaucoup de formes néogènes y sont associées à des formes éocènes.

SYRACUSE. — M. Théodore Fuchs (2) a reconnu, dans le voisinage de Syracuse, au sommet d'une formation miocène de l'âge du calcaire de la Leitha, un système de couches, recouvert en discordance par le pliocène, qui offre les caractères de l'étage sarmatique. Les nullipores, les polypiers et les échinodermes y font défaut. En revanche on y trouve en grande abondance les Mactra podolica, Tapes gregaria, Cardium obsoletum, Ervilia podolica, Donax lucida, Cerithium rubiginosum, Trochus pictus, etc.

MALTE. — M. Théodore Fuchs (3) distingue deux étages dans le terrain tertiaire de l'île de Malte.

L'étage supérieur, de l'âge du calcaire de la Leitha, offre, au sommet, un calcaire recouvrant une couche de grès vert remarquable par l'abondance des bryozoaires, des huîtres, des échinides et des hétérostégines. A la base s'observent des argiles à Pecten cristatus et P. spinulosus, correspondant au Tegel de Baden du bassin viennois.

L'étage inférieur, équivalent du *bormidien*, comprend, au sommet, les couches à Pecten de Schio, représentées par un grès calcaire, et à la base, le calcaire inférieur à nullipores et à bryozoaires. Tandis que les grands clypéastres et les grands Pecten ne se trouvent que dans le calcaire de la Leitha, les grandes orbitoïdes et orbiculines, les petites scutelles et les deux petites espèces de Pecten, P. Haueri et P. deletus, ne se trouvent que dans le calcaire inférieur.

INDES OCCIDENTALES. — M. Lechmere Guppy (4) a décrit une série de fossiles, dont plusieurs nouveaux, provenant des îles des Indes occidentales. Ces découvertes confirment l'attribution

(1) *Verhandl. der k. k. geol. R.*, 1874.
(2) *Sitzungsber. d. K. Akad. der Wissensch.*, 1874. — *Neues Jahrb.*, 1875, 446.
(3) *Sitzungsber. d. K. Akad. der Wissensch.*, 1874. — *Neues Jahrb.*, 1875, 446.
(4) *Geol. Mag.*, 1874, 404, 433.

au miocène des couches de la Jamaïque ainsi que le rapprochement établi entre la faune du miocène de ces contrées, d'une part, et la faune miocène européenne ainsi que la faune asiatique actuelle, d'autre part. Ainsi, on y trouve les genres Murex, Ovulum, Cassis, Fasciolaria, dont les représentants existent aussi bien dans le miocène d'Europe que dans l'océan Indien.

La Jamaïque et l'île d'Haïti offrent de nombreux gisements où les coquilles ont conservé leurs couleurs et qui ne le cèdent en rien, comme richesse, aux faluns du midi de la France.

Le travail de M. Guppy se termine par une liste de tous les mollusques, articulés, échinodermes et protozoaires trouvés jusqu'ici dans les formations tertiaires des îles Caraïbes.

Limite entre le terrain miocène et le terrain pliocène.

Bassin méditerranéen. — M. Brusina (1) a étudié la faune des couches à paludines de la Dalmatie. Ces couches, remarquables par l'abondance des paludines et des Unio, reposent sur les assises à Cerithium pictum et C. rubiginosum de l'étage sarmatique.

M. Tournouër (2) rattache aux couches à paludines de la Croatie les assises de Montpellier, Théziers et Visan à Potamides Basteroti, celles à paludines de Lyon et de Saint Amour au pied du Jura, les dépôts à coquilles terrestres de Meximieux, Hauterive et Montpellier, ainsi que les marnes d'eau douce à paludines et mélanopsides signalées dans l'île de Cos, par M. Gorceix. L'ensemble de cette faune est à la fois européen et nord-américain, peut être aussi asiatico-américain.

Quant aux couches à congéries, leur faune, européenne par ses principaux éléments (Dreyssenia, Menalopsis, Cardium), se rattache par quelques types à l'Amérique et à l'Asie.

En tout cas, ni l'une ni l'autre de ces faunes n'est africaine. Donc, à l'époque de transition entre le miocène et le pliocène, le régime hydrographique de l'Europe était séparé de celui de l'Afrique par un obstacle infranchissable aux modes ordinaires de propagation des mollusques fluviatiles ou lacustres.

Gard. — M. Tournouër (3) a étudié les terrains tertiaires

(1) *Fossile Binnenmollusken aus Dalmatien*, etc. Agram, 1874.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 291.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 287.

supérieurs de Théziers (Gard). Ces terrains, qui reposent sur la mollasse marine miocène, débutent par une assise marine à Ostrea cochlear, suivie par des couches à congéries contenant les fossiles de Saint-Ferréol, Dreyssenia simplex, Menalopsis Matheroni. Au-dessus viennent les couches marines de Vaquières à Cypricardia coralliophaga, que couronnent les marnes à Potamides Basteroti et à Auricula Serresi.

Tout cet ensemble correspondrait, soit au pliocène inférieur, soit plutôt à un groupe de transition entre le miocène et le pliocène.

Les végétaux contenus dans les marnes à Potamides ont été étudiés par MM. de Saporta et Marion (1). Cette flore comprend douze espèces, dont trois au moins existent dans le miocène supérieur de Bilin (Bohême). Ses principales analogies sont avec les parties chaudes de la Méditerranée et celles de l'extrême Orient asiatique. Avec la flore, pourtant si voisine, de Meximieux, celle de Théziers, ou plutôt de Vaquières, ne possède en commun que le Glyptostrobus europæus.

Pliocène.

Anvers. — M. Gosselet (2) a observé la succession suivante, de haut en bas, dans les dépôts pliocènes d'Anvers :

6° Sable à Fusus antiquus.
5° — à Pecten pusio.
4° — à Isocardia cor.
3° — à Terebratula grandis.
2° — à Pectunculus pilosus.
1° — à Panopea Menardi.

M. Gosselet a été frappé de la ressemblance des sables à Fusus avec ceux du diestien de la Flandre. Si cette analogie se confirmait, le terme de diestien deviendrait synonyme de celui de Scaldisien.

— M. Cogels (3), contrairement à l'opinion admise par M. Dewalque, divise le terrain *scaldisien* en deux étages. L'étage inférieur, ou système des sables à Isocardia cor, repose sur le diestien par une couche à dents de squales et peut se diviser en deux zones, toujours caractérisées par la prédominance des sables gris. L'étage

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 272.
(2) *Soc. géol. du Nord*, II, 129.
(3) *Ann. Soc. malacol. de Belgique*, IX, 1874.

supérieur, ou système des sables à Trophon antiquum (Fusus contrarius), débute à la base par une couche à coquilles brisées, Cyprines, Astartes, Peignes, etc., que M. Dejardin avait parfaitement reconnue, en 1862, comme appartenant au scaldisien supérieur. Avec le Trophon antiquum on trouve, dans les sables supérieurs, les Trophon gracile (Fusus corneus), Purpura lapillus, Purpura tetragona, Pecten complanatus.

Cotentin. — Le pliocène du Cotentin comprend, d'après MM. Dollfus et Vieillard (1), au sommet, les marnes à Nassa prismatica (Buccinum) de Saint-Martin d'Aubigny et, à la base, le conglomérat à Terebratula grandis des Bohons. La première assise représente le crag rouge, la seconde, le crag corallien d'Angleterre.

Oran. — D'après M. Bleicher (2), le terrain pliocène d'Oran repose directement sur le sahélien dénudé et renferme, dans des argiles grises et des marnes charbonneuses, les Potamides Basteroti, Melania tuberculata, Paludestrina Peraudieri, Amnicola similis, Pupa umbilicata, Bulimus decollatus. Un banc de grès subordonné contient des coquilles marines de l'astien, avec un palmier du miocène supérieur.

Ces couches marines et fluviatiles contiennent donc une faune de transition, à la fois tertiaire et actuelle.

Tarente. — M. Théodore Fuchs (3) a étudié les dépôts pliocènes des environs de Tarente. On y observe, de *haut en bas* :

1. Calcaire brun, friable, à Nullipores, conglomérats et sables bruns avec plaquettes concrétionnées.
2. Argile bleue, tenace et homogène.
3. Calcaire à Bryozoaires.

C'est dans le calcaire à nullipores que se trouvent ces riches gisements de coquilles bien conservées qui ont rendu célèbre la localité de Tarente et dont M. Kobelt (4) a donné dernièrement une liste très-complète.

TERRAIN QUATERNAIRE.

Nord de l'Europe. — *Caractères généraux de l'époque glaciaire*

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 460.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 187.
(3) *Sitzungsber. der K. Akad. d. Wissench.*, LXX, 1874.
(4) *Deutsche malakolog. Ges.*, 1874, 65.

— M. Pettersen (1) a cherché à retracer les caractères principaux de l'époque glaciaire dans le nord de l'Europe. Il admet qu'à la fin de la période tertiaire et pendant l'époque glaciaire il s'était formé, à l'ouest de la côte norwégienne actuelle, un continent, l'*Arctis*, réunissant les îles Loffoden au Spitzberg, et rejoignant probablement l'Écosse, de manière que la mer du Nord ne communiquait pas avec l'Océan. Alors le Gulf-stream était rejeté vers le nord, ce qui explique le climat relativement doux du Spitzberg à l'époque glaciaire. En revanche, l'action de ce courant ne se faisant plus sentir sur les côtes de la Norwége et sur celles de la mer Polaire, toute la région scandinave se couvrait de puissantes masses de glace. L'affaissement de l'*Arctis* aurait déterminé la fin de la période glaciaire.

IRLANDE. — *Dépôts glaciaires coquilliers.* — La présence de coquilles marines dans un dépôt glaciaire n'est pas toujours, suivant M. Belt (2), une preuve que le continent s'est soulevé d'une quantité correspondant à l'altitude actuelle du dépôt. L'auteur croit pouvoir admettre que la position occupée aujourd'hui par de tels dépôts coquilliers vient de ce que la grande calotte glaciaire, dans son mouvement du nord vers le sud, les a soulevés et poussés devant elle.

Mais M. Goodchild (3) a fait remarquer que les dépôts coquilliers, qui se sont trouvés sur le passage de la glace, ont dû subir des pressions capables, non-seulement de détruire tous les organismes qui s'y trouvaient contenus, mais encore de faire disparaître toutes traces de stratification. Ce savant a donc cherché une autre explication, qui fût spécialement applicable aux circonstances que présente le diluvium glaciaire d'Irlande.

Selon lui, les traits principaux de ce diluvium sont les suivants : les matériaux constituants sont de toutes dimensions, depuis les grains de sable jusqu'aux blocs de 3 à 7 mètres de diamètre. Une forte proportion des pierres présentent des traces de stries. La quantité des matériaux, roulés et distribués conformément aux lois de la pesanteur, va en diminuant à mesure qu'on remonte vers les sources des bassins. Dans beaucoup de cas le diluvium forme des collines elliptiques adossées à des promontoires rocheux. Les parties à stratification confuse ou contournée

(1) *Neues Jahrb.*, 1875, 431.
(2) *Nature*, 14 mai 1874.
(3) *Geol. Mag.*, 1874, 496.

sont intercalées au milieu de couches qui n'ont subi aucun dérangement. Enfin les dépôts coquilliers présentent un mélange de formes celtiques, lusitaniennes, boréales et arctiques.

La théorie marine, étant incapable de rendre compte de toutes ces apparences, doit être abandonnée. La seule doctrine qui, suivant M. Goodchild, s'adapte à l'explication des faits observés est la suivante : Une masse de glace en mouvement est généralement remplie de fragments de roches, plus ou moins enfoncés dans son épaisseur. Or le mouvement d'une telle masse de glace est loin d'être le même dans toutes ses parties et le sens suivant lequel se meuvent ses couches inférieures peut être complétement différent de celui du mouvement des couches supérieures, car il est influencé par la forme du fond et par les obstacles qui s'y rencontrent. De là, dans les différentes parties d'une même masse de glace, des courants qui peuvent se croiser dans tous les sens. Les matériaux qui se trouvent au point d'intersection de deux courants opposés sont soumis à l'action d'une résultante qui peut être dirigée de bas en haut. Par suite, des blocs originairement contenus dans la glace peuvent se trouver transportés à de grandes hauteurs sans avoir subi des pressions considérables. Déjà, du reste, les observations de J. D. Forbes et celles de M. Geikie ont montré que la glace tend sans cesse à rejeter au dehors, et non sur son fond, les matières étrangères qu'elle contient. Cela posé, au début de la période glaciaire, quand les différents glaciers n'étaient pas encore réunis en une seule nappe, leurs extrémités poussaient devant elles le fond sableux de la mer et devaient ainsi produire un mélange entre les faunes qui avaient successivement habité les rivages. Une fois la nappe glaciaire formée, les dépôts sableux avec coquilles mélangées se sont trouvés pris dans son intérieur. Rejetés ensuite au dehors avec toutes sortes de matériaux suivant la marche qui vient d'être décrite, ils ont formé, à diverses hauteurs, les dépôts confus qu'on observe aujourd'hui. Les courants d'eau qui circulaient sous le corps même de la glace dans les cavités du terrain sous-jacent, ont déterminé, par places, la stratification d'une partie des matériaux tombés au fond. Lorsque les couches ainsi formées ont été soumises, avant leur consolidation, à des pressions verticales trop énergiques de la part de la glace, il a pu en résulter des plissements et des contournements locaux.

En résumé, les coquilles des dépôts glaciaires auraient bien été, comme l'indiquait M. Belt, amenées à toutes les hauteurs par l'action de la glace, sans qu'il y ait eu de changements dans l'alti-

tude des continents. Mais au lieu d'une pression énergique exercée par la tête de la nappe glaciaire contre d'anciens dépôts marins, ce serait cette nappe elle-même qui, en vertu des courants contrariés auxquels sa masse était assujettie, aurait rejeté au dehors tous les matériaux solides contenus dans l'intérieur.

— La théorie de M. Goodchild a été combattue par M. Mackintosh (1), qui persiste à admettre un grand affaissement du sol à l'époque glaciaire. Contre l'hypothèse d'une calotte glaciaire chargée de blocs de toutes dimensions, l'auteur invoque la pureté constatée de toutes les masses de glace actuellement connues et il cite à l'appui de ses assertions les observations de M. Wyville Thomson.

M. Hardman (2) n'accepte pas l'origine exclusivement glaciaire attribuée par M. Goodchild au diluvium irlandais. L'auteur établit que cette formation peut être divisée, au point de vue lithologique, en *till* ou argile à blocaux, et sables ou graviers stratifiés avec terre à briques. Le till contient surtout des fragments empruntés aux roches voisines, tandis que les graviers sont très-riches en éléments venus de loin. Dans la région de Derry, d'Antrim et de Tyrone, la craie, du reste très-dure, est recouverte presque uniformément par une nappe de basalte : le *till* s'y montre dépourvu de fragments de craie et de silex, tandis que ces derniers abondent dans les graviers. Si donc il est facile d'admettre que le *till* s'est formé sous l'action d'une calotte de glace qui recouvrait tout le pays, il faut invoquer, pour les sables et graviers, une toute autre origine. L'auteur pense qu'après la fusion de la glace, l'action de la mer est entrée en jeu et qu'en attaquant des falaises de craie surmontées par le basalte, elle a pu faire ce que la glace était impuissante à effectuer, en raison de la couche protectrice qui s'étendait entre elle et la craie.

Ile de Man. — D'après M. Birds (3), on peut distinguer trois étages dans les formations post tertiaires de l'île de Man. L'étage supérieur est un *boulder clay* formé presque exclusivement de roches de la contrée, anguleuses ou faiblement roulées, avec quelques lits de sable et de gravier; au-dessous viennent des sables et graviers stratifiés, avec nombreux cailloux roulés de roches étrangères, provenant d'Angleterre, d'Écosse et d'Irlande.

(1) *Geol. Society*, 23 juin 1875.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 172.
(3) *Geol. Mag.*, 1875, 80.

Enfin l'assise inférieure est un *boulder clay* contenant une fa
proportion de roches étrangères. La première assise appartiend
au terrain glaciaire récent tandis que les deux autres ferai
partie du glaciaire ancien.

La classification de M. Birds est d'accord avec celle qui a
donnée, pour les mêmes dépôts, par M. Horne (1); seulem
pour ce dernier auteur, les deux assises de *boulder clay*
seraient que deux phases successives d'une même époque
claire, interrompue par des phases de retraite auxquelles corres
pondraient les lits de sable et de gravier.

ANGLETERRE. — D'après M. Goodchild (2), l'étude des phéno-mènes glaciaires dans la vallée d'Éden et la partie occidentale du Yorkshire-Dale conduit à admettre l'existence d'une nappe de glace continentale descendant des montagnes d'Écosse avec une puissance de 700 à 800 mètres au plus ; cette masse, chargée de pierres empruntées à toutes les roches de son bassin, aurait déposé, en fondant, à la fois le drift à cailloux anguleux des plateaux, le diluvium à blocaux, les eskers et les nombreux blocs erratiques de la région.

CHESIL BANK. — M. Prestwich (3) a cherché à expliquer l'origine de la plage de galets connue en Angleterre sous le nom de Chesil Bank et qui s'étend de Portland à Abbotsbury, sur une longueur de près de 20 kilomètres, avec une épaisseur variable entre 13 et 7 mètres. Les galets sont surtout des silex de la craie, avec quelques cailloux de grès rouge, de porphyre et de jaspe. Aucun d'eux n'est emprunté aux falaises voisines.

On avait pensé d'abord que ces galets devaient provenir de la falaise située entre Lyme-Regis et Budleigh Salterton et qu'ils avaient été poussés vers l'est par l'action combinée du vent et des vagues. Cependant cette explication se heurtait à une difficulté sérieuse : c'est que les galets les plus gros se trouvaient à l'extrémité de la plage la plus éloignée de leur origine supposée.

M. Prestwich a découvert récemment, sur le Bill de Portland, un ancien rivage soulevé, s'élevant de 7 à 13 mètres au-dessus du niveau actuel de la plage et contenant tous les matériaux du Chesil-Bank, notamment des cailloux empruntés aux roches du Devonshire

(1) *Transactions of the Edinburg geol. Soc.*, 1874.
(2) *Geol. Society*, 24 juin 1874.
(3) *Geol. Mag.*, 1875, 228. — *Geol. Society*, 10 juin 1874.

et du Cornouailles. On y trouve aussi 26 espèces de coquilles, dont deux n'arrivent plus aujourd'hui dans la Manche. Ce rivage soulevé, formé sans doute à l'époque glaciaire et sous des conditions topographiques différentes des conditions actuelles, peut s'observer en différents points des falaises entre Brighton et la côte des Cornouailles. C'est la destruction de ce dépôt, opérée surtout pendant les ouragans, qui aurait donné naissance au Chesil-Bank.

M. Prestwich pense, du reste, que le galet de la côte anglaise méridionale ne provient pas directement des falaises actuelles, mais qu'il dérive de la destruction des couches du gravier quaternaire et de celle des anciens rivages soulevés.

Læken. — M. Lefèvre (1) a observé, à Læken, un limon stratifié et *fossilifère* appartenant à la couche connue, en Belgique, sous le nom d'*ergeron*, où il a recueilli les Succinea oblonga, Helix hispida et Pupa muscorum. Ce dépôt était recouvert par une forte épaisseur de limon ordinaire ou terre à briques.

Artois, Flandre. — M. Potier (2) a signalé les terrasses de sables et de cailloux roulés qui bordent les vallées de la Canche et de l'Authie, à une altitude de 40 mètres, sans qu'on en retrouve de traces à un niveau inférieur. Il rapproche de ces dépôts les graviers à peine roulés du camp d'Helfaut, près de Saint-Omer, et établit que ces dépôts, où l'on ne trouve jamais de restes de mammifères, ont dû se former avant que le fossé qui sépare les collines de l'Artois de celles de Cassel et de Mons-en-Pévèle, fût creusé à sa profondeur actuelle. On est obligé d'admettre qu'à cette époque la hauteur du continent différait sensiblement de ce qu'elle est aujourd'hui.

La Celle. — M. Chouquet a fait faire des fouilles à La Celle, près Moret, dans un tuf calcaire, quaternaire, superposé au travertin de Château-Landon. Les empreintes végétales de ce tuf, étudiées par M. de Saporta (3), attestent la présence du figuier, de l'arbre de Judée, du saule-cendré, du buis, etc. Cette association indique qu'à l'époque quaternaire les différences entre le Nord et le Midi étaient beaucoup moins tranchées qu'aujourd'hui, le Midi étant plus humide et le Nord moins froid. De plus, la comparaison de la flore de La Celle avec celles de Canstadt en Wurtemberg et des en-

---

(1) *Ann. Soc. malacologique de Belgique*, X, 1875.
(2) *Association française*. Lille, 1874, 376.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 439.

virons de Montpellier, permet de ranger le tuf en question sur l'horizon des graviers à Elephas primigenius.

Cette conclusion est pleinement justifiée, selon M. Tournouër (1), par l'étude des mollusques du tuf de La Celle. Car on y trouve 34 espèces, dont 33 sont terrestres et indiquent une faune de mollusques habitant des endroits très-humides et embragés: ce sont des limaces, des vitrines, des succinées, des zonites, des hélices arboricoles, etc. Avec un fonds d'espèces encore vivantes dans le pays, on reconnaît quelques espèces françaises, mais étrangères à la région; d'autres européennes, mais étrangères à la France; enfin quelques variétés éteintes. L'ensemble accuse un mélange et une diffusion des espèces plus large que de nos jours. Certaines associations de types de La Celle ne se retrouvent plus que sur le littoral méditerranéen. La concordance est remarquable entre cette faune et celle de Canstadt. *D'ailleurs*, M. de Mortillet a trouvé, au-dessus du tuf de La Celle, des silex taillés de l'époque de Moustiers, qu'il considère comme la seconde époque de la pierre. Le tuf est donc plus ancien et probablement contemporain des graviers de Saint-Acheul.

Haute Tarentaise. — M. de Rosemont (2) a observé, dans les vallées de la haute Tarentaise, des terrasses diluviennes qui se montrent jusqu'auprès de la source même de l'Isère et du Doron. Or, en aval de cette dernière source, on observe une pente serpentineuse qui a été polie par les anciens glaciers; les glaciers actuels s'arrêtent à 400 ou 500 mètres en amont. M. de Rosemont en conclut que les glaciers avaient cessé d'être en activité quand les grands cours d'eau déposaient ces terrasses et que, par conséquent, l'époque des grands cours d'eau est postérieure à l'époque glaciaire.

Bavière. — M. Zittel (3) a reconnu, en Bavière, un remarquable développement du terrain glaciaire. L'auteur distingue trois périodes principales :

Période pré-glaciaire.

Diluvium ancien stratifié, sans fossiles.

Période glaciaire.

Grands glaciers, terrain erratique, moraines, cailloux roulés, lehm morainique. Lignites d'Aschau à Rhinoceros tichorhinus.

(1) *Bull. Soc. géol* [3], II, 443.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 481.
(3) *Akad Wissensch.* München, 1874, 252. — *Revue géol. suisse*, 1874, 300.

Loess et Lehm dans et hors la région glaciaire. Elephas primigenius, Cervus tarandus, etc., coquilles alpines vivantes.

Période post-glaciaire.

Erosion des lits des rivières (Ammer, Würm, Isar, Inn, Salzach, etc.).
Diluvium récent stratifié. Tourbe avec Betula nana, Salix herbacea.

Oran. — Le terrain quaternaire de la province d'Oran, étudié par M. Bleicher (1) se compose de grès littoraux à coquilles marines actuelles, d'alluvions marno-sablonneuses avec animaux terrestres et fluviatiles, d'espèces vivantes et de dépôts détritiques irréguliers marins, s'observant jusqu'à 150 mètres au-dessus de la Méditerranée.

A cette période appartiennent les basaltes d'Aïn-Temouchent, les solfatares des Sebkhas du Tell Oranais, les éruptions hydrothermales ferrugineuses de la plaine d'Oran, le conglomérat gypseux du pied nord du Tessala, les travertins et les dépôts d'incrustations d'Hammam-bou-Hadjar.

Sierra Nevada. — M. Le Conte (2) a suivi les traces des anciens glaciers de la Sierra Nevada. La région la plus instructive à cet égard est celle du lac Tahoc, dans lequel on voit déboucher cinq anciennes moraines bien formées, séparées les unes des autres par des dépressions où existent des lacs. Auprès du mont Tallac, les surfaces polies et mamelonnées sont très-remarquables. Ce qui caractérise les moraines voisines du lac Tahoc, c'est qu'elles forment des rangées bien parallèles, se terminant du côté du lac d'une manière abrupte sans qu'on puisse apercevoir aucune trace de moraines frontales. Cela tient évidemment, selon M. Le Conte, à ce que les anciens glaciers de la région aboutissaient au lac, où leur extrémité donnait naissance à des ice-bergs.

Nouvelle-Angleterre. — M. James D. Dana (3), tenant compte des hauteurs auxquelles les stries glaciaires ont été observées dans la Nouvelle-Angleterre, estime entre 500 et 700 mètres la puissance du glacier qui devait autrefois recouvrir la région de Newhaven. Une telle masse de glace, en fondant, a dû produire une inondation considérable. M. James D. Dana s'est attaché à suivre les traces de ce déluge qui a inauguré la période fluviale ou de Champlain par une ère de dépôts tumultueux. L'auteur a ob-

(1) *Bull. Soc. geol.* [3], III, 191.
(2) *American Journal* [3], X, 126.
(3) *Americ. Journ.* [3], X, 168.

servé que les dépôts diluviens, à l'embouchure du Quinnip
forment deux séries superposées, l'une, inférieure, où la stra
cation oblique des couches se relève vers le sud, l'autre supérie
où le relèvement des couches a lieu vers le nord. De plus la s
ration de ces deux systèmes est nettement tranchée. M. Ja
D. Dana en conclut que le dépôt inférieur a été formé sous l
fluence des ondes de marée montante qui venaient à l'enco
du fleuve de la période glaciaire, tandis que le dépôt supéri
s'est formé quand, par suite de la fonte rapide des glaces, le co
rant d'eau douce est devenu assez fort pour refouler la mar
En outre, le passage de l'un de ces régimes à l'autre a été brusq
Du reste, la fonte rapide d'une grande masse de glaces pour
seule mettre en mouvement les immenses quantités de sable, d
graviers et de blocs qu'on voit à la partie inférieure des valle
de la Nouvelle-Angleterre.

QUATRIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.

La quatrième partie de cette *Revue* restera consacrée aux descriptions et aux cartes géologiques; elle analysera les travaux ayant plus spécialement pour but de faire connaître la constitution géologique d'un pays ou d'une région.

— Un résumé sommaire de l'ensemble des cartes géologiques a été donné par la *Carte géologique de la Terre*, de M. Jules Marcou, dont il vient de paraître une seconde édition qui est au courant des dernières explorations; cette carte, construite pa. Ziégler, est à l'échelle du 23.000.000ème; elle est pourvue d'une légende écrite en plusieurs langues et accompagnée d'un texte français qui lui sert d'explication.

EUROPE.

Une carte géologique de l'Europe a été publiée par le capitaine Hennequin, chargé du cours de géographie à l'Académie mili-

taire de Belgique. C'est à peu près une réduction de la carte de Dumont dans laquelle les tracés des limites ont été simplifiés, en même temps que les couleurs ont été choisies de manière à trancher fortement l'une sur l'autre. Le relief y est d'ailleurs représenté à l'aide des courbes de niveau qui sont si utiles sur toutes les cartes géologiques et n'ont pas, comme les hachures, l'inconvénient de modifier les teintes.

SPITZBERG.

Les expéditions que MM. Nordenskiöld, Otto Torell et divers savants suédois ont faites pendant ces dernières années dans les mers Arctiques ont été extrêmement profitables à la science et particulièrement à la géologie. L'Académie des sciences de Stockholm avait envoyé à l'Exposition internationale de Géographie de Paris, une partie des belles collections qui ont été rapportées de ces expéditions et nous allons donner, d'après M. le professeur A. G. Nathorst (1) de l'Université de Lund, un résumé des principaux résultats qui ont été obtenus.

Il y a moins de dix années, on admettait que la côte occidentale du Spitzberg était entièrement formée de roches cristallines et qu'elle manquait des dépôts jurassiques, crétacés et tertiaires (2) ; mais les expéditions suédoises y ont constaté l'existence de neuf terrains distincts qui sont bien caractérisés par les fossiles animaux et végétaux qu'on y a recueillis (3).

I. *Terrain primitif ou azoïque.* — Les roches appartenant à ce terrain se rencontrent dans la partie N.-O. du Spitzberg, à Verlegenhook, sur la rive N.-E. de Wijdebay, sur la côte septentrionale de la terre du nord-est, aux Sept-Iles, dans l'intérieur de Wahlenbergbay, au fond de Klaas Billenbay, dans l'Isfjord, etc. Elles se composent essentiellement de roches cristallines schistoïdes, notamment de gneiss, de micaschistes qui sont souvent grenatifères, de schistes amphiboliques, de quartzites, de calcaires cristallins. On voit en outre, sur plusieurs points, de la pegmatite et du granite ordinaire. Ces diverses roches présentent d'ailleurs de nombreuses alternances.

II. *Terrain silurien? d'Heclahok.* — Ce terrain, qui occupe une étendue considérable, apparaît, tant sur la côte occidentale que

---

(1) Notes remises à M. Delesse. — Ouvrages publiés par M. Nordenskiöld.
(2) Charles Martins : *Du Spitzberg au Sahara*, 1866.
(3) *Notices sur la Suède, publiées à l'occasion du Congrès international des sciences géographiques de* 1875, *à Paris.*

dans le nord et le nord-est du Spitzberg. Il se compose principalement de dolomie grise, de schiste argileux noir et de divers quartzites. Ses couches sont en général redressées et dérangées.

Quoique les schistes et les autres roches du silurien du Spitzberg aient souvent une texture très-fine, on n'y a rencontré d'autres fossiles que des bivalves impossibles à déterminer; elles sont dans le schiste noir de Greyhook, qui, d'après M. Nordenskiöld, serait une formation d'eau douce, contemporaine des couches siluriennes marines de la Scandinavie.

III. *Terrain dévonien? de Liefdebay.* — Dans le principe, M. Nordenskiöld réunissait les couches de Liefdebay au terrain précédent; mais ses recherches personnelles, celles de M. Malmgren en 1868, de MM. Wilander et Nathorst en 1870, firent découvrir à Klaas Billenbay, dans ces mêmes couches, des écailles et des arêtes de poissons, quelques ostracodes ainsi que *des bivalves*, et M. Nordenskiöld pensa qu'il y avait lieu de les considérer comme formant un terrain distinct.

Les roches de ce terrain se composent ordinairement de schistes argileux, rouges et verts, de calcaires, de grès et de conglomérats grossiers qui sont souvent d'un rouge intense. Elles s'étendent de Klaas-Billenbay, Dicksonsbay et Ekmanbay dans l'Isfjord, par Liefdebay à Redbeach. Les restes organiques qu'elles renferment ne sont pas encore complétement déterminés; toutefois il paraît probable qu'ils appartiennent au dévonien supérieur. La formation de Liefdebay se rencontre également à Beeren Eiland.

IV. *Terrain carbonifère.* — Il comprend les trois étages suivants : 1° Groupe de Beeren-Eiland ou de l'Ile des Ours; 2° Calcaire carbonifère; 3° Terrain houiller proprement dit.

1° Le *groupe de Beeren Eiland* ou de l'*Ile des Ours* (Étage paléanthracitique, Ursastuffe, Heer) constitue l'étage inférieur et se rencontre, tant à Beeren-Eiland, d'où il tire son nom, qu'à Bellsound et à Klass Billenbay, au Spitzberg. Il se compose de conglomérats, de grès, de schistes argileux, renfermant sur quelques points des veines de houille avec des végétaux fossiles. Jusqu'ici l'on n'a trouvé qu'à Beeren Eiland de véritables couches de houille appartenant à cette formation, et, au Spitzberg, elles se réduisent à des veines très-minces. Des végétaux fossiles, appartenant à cet étage, ont été recueillis en 1868 à Beeren Eiland par MM. Nordenskiöld et Malmgren et ont été décrits par M. Heer (1) qui cite 18 espèces appartenant aux genres Cal-

(1) *Fossile Flora der Bären Insel*; mém. de l'*Acad. roy. des sc. de Suède*, IX, n° 5, 1871.

mites, Cardiopteris, Palæopteris, Sphenopteris, Lepidodrendon, Lepidophyllum, Knorria, Cyclostigma, Helonia, Stigmaria et Cardiocarpum.

En 1870, MM. Wilander et Nathorst rencontrèrent des végétaux fossiles dans les couches de l'étage paléanthracitique à l'Isfjord, au Spitzberg. M. Heer y distingua seulement quatre espèces se rapportant aux genres Calamites, Lepidodendron, Stigmaria, Cyclostigma et en outre le fruit d'une Rhizocarpée (1).

M. Nordenskiöld trouva de plus à Bellsound en 1873, dans des couches probablement correspondantes, un Calamites et une Knorria. A la même couche appartenaient sans doute le Lepidodendron et le Sigillaria ou le Calamites rapportés de Bellsound par M. Eugène Robert, lors de l'expédition française de la corvette *la Recherche* pendant les années 1838-1839.

2° *Calcaire carbonifère.* — Au Spitzberg, cet étage est l'un des plus riches en fossiles; comme le précédent, il s'observe à Beeren-Eiland, d'où M. Keilhau a rapporté, dès 1827, une collection de fossiles qui furent ensuite décrits par Léopold de Buch. M. Keilhau en recueillit également au Cap sud, au Spitzberg, et le lieutenant Payer en rapporta du même endroit en 1871. M. Hofer en rencontra de semblables à Hornsound en 1872. Les fossiles recueillis par ces deux voyageurs ont été décrits par M. Toula (2). Des couches de calcaire carbonifère riches en fossiles, s'observent en outre sur plusieurs points de Bellsound, d'où M. Eugène Robert en rapporta quelques-uns qui furent décrits par M. de Koninck. En 1858-1859, M. Lamont en recueillit également qui ont été décrits par Salter. Toutes les expéditions suédoises au Spitzberg ont rapporté de ce fjord de riches collections. Il en est de même de l'Isfjord, où, dès 1837, M. Loven découvrit des fossiles du calcaire carbonifère que l'on rencontra ensuite dans une foule de localités de ce même fjord. L'expédition de 1861 en découvrit également à Kingsbay, aussi bien que sur plusieurs points de l'Hinloopenstrait. Enfin M. Lamont en rapporta de Stensforeland et de Devilbay.

M. Nordenskiöld considère le calcaire carbonifère comme le plus ancien des dépôts marins que l'on ait rencontrés jusqu'ici au Spitzberg et il y a établi les divisions suivantes, en allant de haut en bas :

---

(1) Heer : *Beiträge zur Steinkohlenflora der arktischen Zone ;* mém. de l'*Acad. roy. des sc. de Suède*, XII, n° 13, 1874.

(2) *Sitzungs Ber. der K. K. Akad. der Wissensch. in Wien*. Nov. 1873 et juin 1874.

e. Calcaire à productus avec silex, renfermant une quantité considérable de fossiles et surtout de grands productus. Les lits de silex sont très-pur et leur épaisseur atteint souvent une centaine de mètres.

d. Calcaire à spirifères et gypse, riche en brachiopodes, principalement du genre spirifer. Les couches de gypse ont fréquemment une épaisseur d'une soixantaine de mètres et elles contiennent des boules d'albâtre. Certains grès de Beeren-Eiland paraissent se rapporter à ce sous-étage.

c. Calcaire à Cyatophyllum, fortement corrallifère, contenant quelques gastéropodes, ainsi que des brachiopodes de petites dimensions.

b. Grès gris et rouges du cap Fanshaw, non fossilifères.

a. Dolomie de Russö recouvrant immédiatement le groupe de l'île des Ours, elle est jaunâtre, dépourvue de fossiles et contient des lits de silex.

M. le docteur Lundstroëm de Visby, qui a étudié les collections de calcaire carbonifère recueillies en 1868, en donnera prochainement la description détaillée dans les mémoires de l'Académie des sciences de Stockholm ; dès à présent, il indique 63 espèces qui se répartissent ainsi :

Crustacés	2	espèces.	Bryozoaires	7	espèces.
Gastéropodes	2	—	Crinoïdes	2	—
Lamellibranches	11	—	Anthozoaires	4	—
Brachiopodes	34	—	Spongiaires	1	espèce.

L'étude de cette faune montre qu'elle se compose d'un mélange d'espèces appartenant au calcaire carbonifère avec d'autres qui jusqu'à présent n'ont été trouvées que dans le terrain permien; du reste, par l'absence de représentants du genre Orthis, cet étage présente plutôt un caractère permien et, suivant M. *Lindström*, il est probable que le calcaire carbonifère du Spitzberg est analogue à l'*Upper mountain Limestone* de l'Écosse.

En tout cas, le calcaire carbonifère du Spitzberg et de Beeren Eiland contient une foule de brachiopodes appartenant aux genres Chonetes, Spirifer, Streptorhynchus et Productus, parmi lesquels le Productus Weyprechti (Toula), particulier à ces régions. Citons encore Pecten pauciradiatus (Lindström) et Syringopora reticulata.

3° *Terrain houiller.* — La découverte des couches appartenant à cette importante formation fut faite par M. Nordenskiöld en 1873, année dans laquelle il rencontra, à Recherchebay, une foule de végétaux fossiles décrits par M. Heer dans un travail destiné à être imprimé dans les mémoires de l'Académie des sciences de Stockholm. D'après une courte notice de M. Heer, ces végétaux correspondent à ceux de la houille exploitée en Europe. Parmi les végétaux fossiles recueillis au Spitzberg, mentionnons :

Lepidodendron Sternbergii, Lindl.; Lepidostrobus; Rhabdocarpus costatus; Cordaïtes principalis, Geinitz; Sphenopteris bifida, Heer; Sph. flexibilis, Heer; Adiantites bellidulus, Heer. On a trouvé également des Asterophyllites et des Sphenophyllum; ils se rencontrent dans un schiste foncé, alternant avec du grès, et quoiqu'ils n'aient été rencontrés jusqu'ici qu'à Recherchebay, M. Nordenskiöld pense qu'ils existent sur plusieurs autres points de Bellsound et de l'Isfjord. D'un autre côté, des gisements de houille proprement dits n'ont pas encore été découverts dans cet étage.

V. *Terrain triasique.* — Sur la côte occidentale du Spitzberg, le trias apparaît dans l'Isfjord, à l'entrée méridionale de ce golfe et surtout sur la presqu'île du cap Thordsen. Il existe probablement aussi sur toute la partie occidentale de Stensforeland et de Beeren Eiland. Les couches de la côte ouest se composent de schistes argileux foncés, bitumineux, contenant soit des nodules et des boules, soit des lits de calcaire bitumineux. Dès l'expédition de 1861, M. Blomstrand y recueillait des fossiles, et celle de 1864 en rapportait une riche collection en Suède, grâce aux recherches de MM. Nordenskiöld, Duner et Malmgren. Les invertébrés trouvés pendant cette expédition et la précédente ont été décrits par M. Lindström (1). On découvrit, en outre, lors de la seconde de ces expéditions, des crânes et des ossements de sauriens, qui ont été décrits plus tard par M. Hulke (2), indépendamment de ceux recueillis pendant l'expédition de 1868, qui ont fourni de nouveaux matériaux à la faune des invertébrés. Les plus belles collections du cap Thordsen sont toutefois celles qui furent rapportées en 1870 et surtout en 1872, pour ce qui concerne les vertébrés. Ces dernières collections, qui contenaient des fossiles bien mieux conservés que les précédentes, ont démontré aussi que le Nautilus décrit par M. Lindström était en réalité une Ammonite. M. von Drasche rapporta également du cap Thordsen quelques fossiles qui ont été décrits par M. de Mojsisovics (3), lequel, tout en mentionnant deux espèces d'*Halobia*, déjà décrites par M. Lindström, et dont l'une a été rapportée

(1) *Om Trias och Juraforsteningar fran Spetsbergen ; Sur des pétrifications du trias et du jura du Spitzberg. — Mémoires de l'Académie des sciences*, VI, n° 6, 1865.

(2) J. W. Hulke : *Memorandum on some fossile vertebrate Remains collected by the Swedish expeditions to Spetsbergen in* 1864 *and* 1868; *Annexe des mém. de l'Acad. des sciences*, I, n° 9.

(3) *Edw. Mojsisovics, Ueber die triasichen Pelecypoden Gattungen Daonella und Halobia. Abhandl. d. K. K. geolog. Reichsanst in Wien*, n° 2, 1874.

au genre nouveau *Daonella*, donne la description d'une nouvelle espèce de ce dernier genre. Les collections rapportées depuis 18.. ont été soumises à l'examen de M. Oberg, qui n'a encore rien publié à leur égard. Les espèces jusqu'ici connues du cap Thordsen sont : Nautilus Nordenskiöldii, Lindström; Ammonites trochleïformis, Lindstr. sp.; Ammonites Gaytani, Klipst. var.; Ceratites Malmgreni, Lindstr.; Ceratites Blomstrandi, Lindstr.; Posidonia sp.; Daonella Lindströmi, Mojsisov.; Daonella arctica, Mojs.; Halobia Zitteli, Lindstr.; Monotis, sp.; Monotis filigera, Lindstr.; Pecten sp.; Lingula, sp.; Encrinus sp. Les débris de vertébrés déterminés par M. Hulke sont : Ichthyosaurus Nordenskiöldii, Hulke; Icht. Polaris, Hulke, et Acrodus Spetsbergensis, Hulke. Les matériaux relatifs aux vertébrés ont été considérablement augmentés par M. Oberg en 1872.

Les couches triasiques du cap Thordsen sont encore intéressantes en ce qu'elles contiennent du phosphate de chaux, en grains presque sphériques, d'environ 1 millimètre de diamètre. M. Nordenskiöld pense que ces couches phosphatées doivent leur origine à la dissolution d'excréments de sauriens et de poissons. Une compagnie suédoise s'était formée, il y a quelques années, pour leur exploitation; mais l'entreprise a été abandonnée.

VI. *Terrain jurassique.* — La formation jurassique est très-développée au Spitzberg où elle avait été découverte par M. Lovén dès 1837. Les couches supérieures de Sauriehook au cap Thordsen lui appartiennent probablement. Elle se montre en outre au cap Boheman, sur le flanc septentrional de l'Isfjord, et sur toute la rive méridionale de ce golfe, depuis son embouchure jusqu'à Sassenberg, d'où elle s'étend jusqu'au cap Agardh, dans le Storfjord.

M. Nordenskiöld distingue une division supérieure et une division inférieure : la première composée de dépôts marins; la seconde de dépôts d'eau douce, avec des lits de charbon et des empreintes de végétaux. Les couches marines sont des schistes argileux, des calcaires et des grès, dans lesquels M. Lindström cite les fossiles suivants : Ammonites triplicatus, Sow; Cyprina inconspicua Lindstr.; Cardium concinnum, v. Buch; Solenomya Torelli, Lindstr.; Leda nuda, Keys.; Inoceramus revelatus, Keys.; Aucella mosquensis, v. Buch; Pecten demissus, Beau; P. validus, Lindstr.; Ophiura Gumaelii, Lindstr.; il y a en outre des fragments indéterminables de poissons et des mollusques; Serpula, Belemnites, Dentalium, Panopæa, Tellina, Cytherea, Arca, Nucula, Avicula, etc. Pour M. Nordenskiöld, ces couches représentent les dépôts marins les plus récents du Spitzberg.

Quant aux couches à végétaux fossiles du cap Boheman, elles se composent de grès, de schistes et de houille, atteignant au plus l'épaisseur de 0m,30. Quoique l'on n'ait rencontré des plantes fossiles que sur ce point, M. Nordenskiöld croit, en se fondant sur la conformité pétrographique, que les couches supérieures de la montagne d'Agardh appartiennent aussi à cet étage. Les plantes du cap Boheman furent recueillies par MM. Oberg et Nordenskiöld en 1872-1873, et ont été décrites par M. Heer, dans un travail qui paraîtra prochainement dans les mémoires de l'Académie des sciences de Stockholm : elles présentent les types suivants : Pecopteris Saportana, Heer; Scleropteris Pomeli, Sap; Podozamites Eichwaldi, Sch.; P. lanceolatus, Lindl.; P. angustifolius, Eichw.; P. plicatus, Hr.; P. pusillus, Hr.; Pinus Obergiana, Hr.; Ginylla digitata, Brongn. sp.; G. Huttoni, Sternb.; et G. integriuscula, Hr. Ces dernières espèces sont particulièrement intéressantes, car elles ont permis à M. Heer de démontrer que le genre *Baiera*, rapporté auparavant aux fougères, est en réalité un conifère, très-rapproché du genre *Ginylla*, s'il ne lui est pas identique.

Diabase, *Dolérite*. — Cette roche est la plus jeune des roches éruptives qui ont été observées au Spitzberg, et elle appartient aux dépôts jurassiques; signalée pour la première fois par les géologues français de l'expédition de *la Recherche*, elle avait reçu le nom de Sélagite ou de Syénite hypersthénique. Dans le principe, M. Nordenskiöld la considérait aussi comme une hypérite jusqu'à ce qu'il fût démontré, par les observations microscopiques de MM. Zirkel et Törnebohm, qu'elle ne contient pas d'hypersthène, mais bien de l'augite; il l'appela ensuite *diabase* en remarquant qu'il eût été plus exact de la rapporter à la *dolérite*. En tous cas, elle présente un mélange de labrador, d'une espèce d'augite et de fer titané hexagonal, auxquels viennent s'ajouter accidentellement du péridot et de la chlorite, cette dernière manquant quelquefois. Son analyse a été donnée précédemment à la géologie lithologique. Cette roche constitue souvent la partie supérieure des montagnes, et forme parfois des colonnades. Une des particularités les plus curieuses de son gisement, c'est de se montrer en bancs qui sont parfaitement réguliers et intercalés entre les couches, soit du calcaire carbonifère, soit des terrains triasique et jurassique. Ces bancs ont assez généralement une grande étendue. En outre, la diabase forme, de temps à autre, des collines et des montagnes isolées ou bien des filons comme ceux qui s'observent au cap Thordsen. M. Nordenskiöld pense que la diabase sédimentaire

a été primitivement de la cendre volcanique qui, se durcissant avec le temps, s'est ensuite métamorphosée en une roche compacte et cristalline. Du reste, la diabase se rencontre principalement dans l'intérieur de l'Isfjord, dans l'Hinloopenstrait et au Storfjord; mais elle n'est pas en relation avec les couches redressées de la côte occidentale du Spitzberg.

VII. *Terrain crétacé.* — La découverte de ce terrain date seulement de 1872 et elle est encore due à M. Nordenskiöld qui, au cap Staratschin, sur la rive méridionale de l'embouchure de l'Isfjord, a rencontré un grès contenant des végétaux fossiles dont le Sequoia Reichembachi, Gein, sp. est le plus commun. Les plantes de ce gisement ont été décrites par M. Heer (1), qui cite les espèces suivantes : Asplenium Johnstrupi, Heer; A. Bogeanum, Heer; Sphenopteris hyperborea, Hr.; Thinnfeldia arctica, Hr.; Sclerophyllina cretosa, Schk.; Equisetum sp., Phyllocladites *rotundifolius*, Hr.; Araucarites Nordenskiöldii, Hr.; Sequoia Reichenbachi, *Gein*, sp.; S. rigida, Hr.; S. fastigiata, Sternb.; Pinus Peterseni, Hr.; Pinus Quenstedti, Hr.; P. Staratschini, Hr.; P. sp. Hypoglossodium antiquum, Hr.

VIII. *Terrain miocène.* — La présence du terrain miocène au Spitzberg offre un très-grand intérêt, car elle permet de constater qu'un climat subtropical ou méditerranéen, si différent du climat actuel, a régné dans les régions polaires à une époque géologique rapprochée de la nôtre. Les dépôts miocènes se rencontrent à Kingsbay, et sur plusieurs points de l'Isfjord et de Bellsound. Les couches de combustibles du Spitzberg paraissent appartenir pour la plupart à ce terrain, qui se compose du reste de conglomérats, de grès, de schistes et d'argiles, avec des empreintes végétales d'une conservation parfois remarquable. M. Nordenskiöld fut le premier qui les découvrit en 1858 au mont des Charbons (Kolfjellet) à Bellsound, d'où il rapporta neuf espèces qui ont ensuite été décrites par M. Heer, et parmi lesquelles nous signalerons le Taxodium distichum miocenum, Hr. On trouvera cette description dans le premier volume de la *Flora fossilis arctica* du savant botaniste suisse. Les gisements de combustibles de Kingsbay furent explorés par MM. Blomstrand et Nordenskiöld en 1861 et en 1868. M. Heer signale treize espèces de cette baie, parmi lesquelles l'Equisetum arcticum, Hr. est la plus commune. M. Blomstrand trouva de même en 1861 des végétaux miocènes à Heersberg, en dedans de

(1) *Kreideflora der arktischen zone. Mém. de l'Académie des sciences*, XII, n° 6, 1874.

Greenharbour et, pendant l'expédition de 1868, M. Nordenskiöld rencontra au cap Staratschin un schiste bitumineux noir, avec des végétaux d'une exquise conservation dont le nombre s'élève au chiffre considérable de 113 espèces (1). Parmi les plus importantes, on peut mentionner Taxodium distichum miocenum, Libocedrus, Sequoïa Nordenskiöldii, S. brevifolia, 11 espèces de Pinus, Taxites, Torellia, Ephedrites, Phragmites, Poacites (13 espèces), Cyperus, Carex (5 espèces), Acorus brachystachys, dont la tige est encore surmontée de son épi, Populus (3 espèces), Betula, Corylus, Quercus, Platanus, Andromeda, Fraxinus, Viburnum, Hedera, Cornus, Nyssa, Nymphæa, Paliurus, Rhamnus, Sorbus, Cratœgus, Rubus, Prunus, etc. Ajoutons 23 insectes, dont 20 coléoptères.

En 1873, M. Nordenskiöld recueillit une grande quantité de plantes fossiles au cap Heer, et découvrit, en outre, au cap Lyell et au glacier de Scott, à l'entrée de Bellsound, le gîte fossilifère le plus remarquable de tous ceux qui ont été exploités jusqu'ici. Il rencontra, en effet, une argile grise avec des empreintes végétales admirablement bien conservées, dans lesquelles les nervures des feuilles se détachaient en noir sur la masse argileuse. Ces plantes ont été décrites par M. Heer dans un ouvrage qui n'est pas encore publié, mais il en donne la liste dans le troisième volume de sa *Flora fossilis arctica*. Les types les plus communs sont : Sequoia Langsdorfii, Brgn. sp. et Acer arcticum. Nous mentionnerons, parmi les genres qui n'avaient pas encore été trouvés jusqu'alors au Spitzberg : Glyptostrobus, Carpinus, Ulmus et Grevia. On rencontre, en outre, dans la même argile, les types : Populus, Alnus, Quercus, Corylus, Fagus, Platanus, Hedera, Cornus, Salix, Nissa, etc.

Bien que les couches miocènes du Spitzberg semblent former parfois à elles seules des montagnes entières, M. Nordenskiöld appelle l'attention sur ce fait, qu'elles constituent, en général, des dépôts totalement locaux, qui ont rempli les dépressions existant dans des formations plus anciennes. Il observe en outre qu'elles sont souvent plissées et totalement redressées, tandis que les couches des formations sous-jacentes peuvent n'avoir subi aucun dérangement. Il croit pouvoir attribuer ces plissements à des changements de température, et principalement à la congélation de l'eau qui s'est introduite dans les crevasses et a produit de la sorte des dilatations et des contractions. La faible importance de ces actions

(1) Voir Heer : *Die miocene Flora und Fauna Spetzbergens*; *Mém. de l'Acad. des sciences*, VIII, n° 7, et l'ouvrage du même auteur *Flora fossilis arctica*, n° 2.

serait alors compensée par la longue durée pendant laquelle elles se sont exercées, puisqu'elles remontent à la période glaciaire.

IX. *Terrain quaternaire.* — On observe sur plusieurs points des côtes du Spitzberg des coquilles marines qui s'élèvent jusqu'à 50 mètres au-dessus du niveau actuel de la mer. La plupart de ces mollusques, comme Pecten Islandicus, Cardium Groenlandicum, Astarte borealis, Tellina calcarea, Mya truncata et Saxicava rugosa, vivent encore en foule dans les parages du Spitzberg; mais quelques-uns, tels que Mytilus edulis, Cyprina Islandica et Littorina littorea, n'ont pas encore été ramenés par les dragages, bien qu'on les rencontre parmi les espèces fossiles. La plus commune de ces dernières est le Mytilus edulis, qui forme parfois des bancs entiers, mais est incomparablement beaucoup plus rare aujourd'hui, quoiqu'on l'ait rencontré au Spitzberg sur des fucus. Comme les bancs de coquilles reposent souvent sur des roches striées par les glaciers, *il est naturel* de croire qu'ils ont été précédés par une période plus *froide*. Avec les Mytilus on trouve, à Adamsbay, des débris de végétaux; en particulier, il y a très-souvent le Fucus canaliculatus qui, jusqu'ici, n'a pas été rencontré vivant au Spitzberg. Dans la tourbe du cap Thordsen, M. Heer a observé, indépendamment d'un grand nombre de mousses, Salix polaris, Wahl. S. retusa? Betula nana et Dryas integrifolia, Wahl. Le premier type est des plus communs au Spitzberg, et le troisième y a été trouvé vivant, ce qui n'est pas le cas pour les deux autres. M. Heer pense que les bancs de Mytilus sont contemporains des charbons feuilletés (*Schieferkohlen*) de la Suisse, c'est-à-dire qu'ils seraient interglaciaires; ils paraissent représenter, dans tous les cas, un climat *plus* chaud que le climat actuel.

M. Heer croit pouvoir formuler, comme résultat de ses recherches sur les plantes fossiles du Spitzberg, que, depuis le commencement du carbonifère jusqu'au crétacé supérieur, le climat a été sans interruption tropical ou intertropical. Il voit dans cette circonstance une preuve contre l'opinion émise dans ces derniers temps par certains géologues relativement à l'existence de périodes glaciaires pendant les formations géologiques anciennes. M. Nordenskiöld signale de son côté que, bien qu'ayant exploré des coupes qui mesurent jusqu'à 900 mètres de puissance sur une longueur totale d'envion 1.600 kilomètres, il n'a rencontré nulle part des dépôts de nature à appuyer l'hypothèse de périodes glaciaires primitives; l'absence totale de blocs erratiques lui paraît même l'infirmer d'une manière complète.

PORTUGAL.

Les études géologiques et géodésiques sont poursuivies en Portugal ; elles sont faites actuellement par une commission spéciale, et avec le concours de M. Carlos Ribeiro et de M. Rodrigues, professeur à l'École polytechnique de Lisbonne.

ALEMTEJO. — Un mémoire de M. J. F. N. Delgado (1) a donné une carte géologique de la partie orientale de la province d'Alemtejo. Les terrains paléozoïques du Portugal offrent une très-grande épaisseur et occupent plus de la moitié de la surface du pays. A leur base et par-dessus les *roches granitiques* se trouve l'*azoïque*, qui est très-développé dans le haut Alemtejo, ainsi que dans la province Tras-os-Montes. Il se compose principalement de schistes luisants et de calcaires métamorphiques avec quelques roches siliceuses. Les calcaires sont saccharoïdes, translucides, généralement blancs, quelquefois aussi de couleurs variées ; ils fournissent des marbres renommés à Estremoz, Montes-Claros, Vianna, Serpa. M. Delgado décrit ensuite le *cambrien* et le *silurien* dans lequel un puits creusé pour la mine de cuivre de Saint-Domingos a fait découvrir à M. l'ingénieur Neves Cabral des fossiles qui jusqu'à présent n'avaient pas été rencontrés dans la Péninsule; ces fossiles paraissent se rapporter aux trois genres Nereites (Murchison), Crossopodia (M'Coy) et Dendrograptus (Hall).

Le *dévonien* est bien représenté dans la chaîne de Portalègre, vers la limite nord de l'Alemtejo : on y a trouvé les fossiles qui, d'après de Verneuil, caractérisent le dévonien inférieur de l'Espagne : Phacops latifrons Br., Dalmanites sublaciniata de Verneuil, Spirifer speciosus Schl., Strophomena Phillipsii Barr. S. depressa Sow., Leptæna Murchisoni d'Arch. et de Vern.

On trouve ensuite le *carbonifère* inférieur qui est très-développé dans l'Alemtejo. Il est formé de grauwakes et de schistes contenant des Posidonomyes ainsi que des goniatites et Calamites communis Ettingsh, qui paraissent bien indiquer un dépôt contemporain des schistes à Posidonomyes de la vallée du Rhin. D'un autre côté, près de Grandola, une clyménie a été rencontrée dans des schistes par M. l'ingénieur des mines F. de Vasconcellos, et semblerait indiquer qu'il existe aussi dans cette région une formation dévonienne. Enfin la carte géologique de M. Delgado montre encore

---

(1) *Terrenos paleozoicos de Portugal,* avec traduction française.

que le terrain *tertiaire* couvre d'assez grandes étendues dans le Baixo-Alemtejo.

ANGLETERRE.

Exploration sub-wealdienne. — Le 23 juin 1874, le sondage destiné à l'exploration de la région wealdienne était arrivé à la profondeur de 305 mètres. D'après M. Topley, on avait rencontré à 297 mètres un bel échantillon d'Ammonites Jason, caractéristique de l'*oxford-clay* : d'un autre côté, entre cette formation et l'argile *Kimméridienne*, on n'a rien trouvé qui correspondît au *coral-rag* et au *calcareous grit*. L'ostrea virgula descendait jusqu'à 265 mètres. Les circonstances seraient donc tout à fait semblables à ce qu'on observe à l'embouchure de la Seine, où l'on passe du *Kimméridien* à l'*oxfordien* par une série continue de roches argileuses.

FRANCE.

Bas-Boulonnais. — M. H. E. Sauvage (1), a esquissé les caractères de la faune erpétologique du Boulonnais à l'époque *jurassique*. On y trouve mélangés des animaux de haute mer (Ichthyosaures, Pliosaures, Plésiosaures), des habitants des eaux douces (Emydes, Crocodiliens à formes lourdes, Machimosaures, Sténéosaures), des reptiles terrestres (Dinosauriens herbivores et carnivores), et des animaux aériens (Ptérodactyliens).

Ce sont surtout les assises *astartiennes* et *kimméridiennes* du Boulonnais qui sont riches en restes de reptiles.

Collines flamandes.— M. Ortlieb (2), se fondant sur l'absence du *tongrien* dans les collines flamandes et admettant les mouvements du sol signalés par divers auteurs à la fin de la période lækenienne, pense que la première ébauche de l'orographie de la Flandre remonte à l'époque *éocène* supérieure et que les terrains de cet âge, au lieu de se former au-dessus du *lækenien*, se sont déposés à ses pieds. Ainsi s'expliquerait le défaut de concordance de la coupe du mont du Chat avec celle du mont Cassel.

Mont Dore.— M. H. Amiot, ingénieur des mines, a fait en 1874, pour le Conseil général du Puy-de-Dôme, une étude détaillée de la vallée supérieure de la Dordogne, entre le pic de Sancy et le

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 81.
(2) *Soc. géol. du Nord*, II, 201.

Bourboule, et les crêtes qui la bordent de part et d'autre (1). Il a reconnu que les *terrains volcaniques* de cette région présentent une stucture assez régulière. Les nappes de roches dures, intercalées dans les tufs trachytiques, conservent une grande homogénéité sur des surfaces étendues, quand elles n'ont pas été dérangées par des failles ou enlevées par des érosions. D'après M. Amiot, on peut distinguer dans ces nappes quatre types de roches : 1° Trachyte phonolithique, passant au vrai phonolithe; 2° Basalte et wacke basaltique; 3° Trachyte gris, à grands cristaux de sanidine; 4° Trachyte granitoïde. Partout où l'on voit des superpositions, les nappes formées de ces roches se succèdent, de bas en haut, dans l'ordre où elles sont énumérées. Il est donc impossible d'admettre qu'au mont Dore, le basalte soit postérieur au trachyte; M. Poulett-Scrope l'a d'ailleurs fait remarquer depuis longtemps. C'est ainsi que la coupe du Puy-Gros montre une nappe de basalte surmontée de deux nappes de trachyte; et il en est de même sur beaucoup d'autres points.

Les environs du mont Dore présentent des *failles* assez nombreuses qui ont été spécialement étudiées par M. H. Amiot. La plus visible est celle qui sépare, à la Bourboule, le granite et le tuf et qui contient les canaux d'arrivée des eaux minérales de cette localité; elle détermine un rejet d'environ 280 mètres; on la retrouve à 4 1/2 kilomètres de là, sur le flanc O. du Puy-Gros, avec un rejet de 200 mètres; elle va E. 28° N. sur une partie de son parcours, E. 19° N. sur une autre. La seconde de ces directions appartient au système des Alpes principales; quant à la première, elle pourrait se rapporter au système du Sancerrois. Deux autres *failles* E. 25° N. à E. 30° N., de sens inverse, accompagnent la précédente. D'autres, moins nettes et qui semblent dirigées à peu près S. 40° E. se rapporteraient au système du mont Serrat.

Pyrénées. — L'attribution faite par M. Leymerie (2) des marbres blancs pyrénéens au terrain *primitif* a été contestée par M. Garrigou (3). L'auteur considère les marbres de Saint-Béat comme reposant, par l'intermédiaire d'une couche ophitique, sur un vieux grès rouge qui fait corps avec les marbres griottes *dévoniens*.

Telle était aussi l'opinion de M. H. Magnan (4), qui considé-

(1) Communication de l'auteur.
(2) *Revue de géologie*, XII, 164.
(3) *Comptes rendus*, LXXIX, 328.
(4) *Comptes rendus*, LXXIX, 1163.

rait les calcaires marmoréens à couzeranite comme *carbonifères*, conformément à la détermination de M. Coquand.

Cependant M. Leymerie (1) ne reconnaît pas dans les Pyrénées, l'existence d'un grès rouge *dévonien*. Tous les grès rouges de la région sont, dans son opinion, *triasiques* ou *permiens*, et leur indépendance vis-à-vis des calcaires marmoréens est complète, ce qui n'aurait pas lieu si ces derniers appartenaient à l'époque *carbonifère*.

VALLÉE DE LA GARONNE. — M. Piette (2) a indiqué l'extension probable des anciens glaciers quaternaires de la Garonne, dont les moraines, avec blocs striés, sont encore bien visibles. L'auteur est également disposé à admettre qu'il y a eu dans les Pyrénées de grands *glaciers tertiaires* auxquels serait dû l'immense amas d'argile et de cailloux qui forme le plateau du *Lannemezan*.

En outre, M. Piette a poursuivi dans les grottes des Pyrénées les recherches qui avaient été entreprises précédemment par MM^rs Frossard; ainsi, il a exploré, à l'entrée de la vallée de la Garonne, la grotte de Gourdan, qui lui a offert plusieurs foyers préhistoriques des âges du renne et de l'aurochs, et celle de Lortet, dans la vallée de la Neste, où il a découvert de très-belles gravures de la période du renne, qu'il considère comme liée d'une manière continue à celle de la pierre polie.

D'un autre côté, de même que M. l'abbé Stoppani dans les Alpes, M. Trutat (3) a trouvé dans les Pyrénées les preuves incontestables d'une époque glaciaire qui est liée à la période *tertiaire*. En particulier, dans la vallée inférieure du Tech, on voit, à Nidolerès, les marnes bleues fossilifères du pliocène reposer sur le glaciaire ancien en couches relevées.

TOULON. — M. A. Toucas (4) a donné quelques détails sur les terrains *jurassiques* et *crétacés* des environs de Toulon. Il a reconnu, sur le pourtour de la montagne du Faron, le *lias supérieur*, le *lias moyen*, *l'infralias*, la zone à *avicula contorta* assez fossilifère, *le gypse*, le *muschelkalk* et le *grès bigarré*.

Le terrain *crétacé* est bien développé à la montagne de Caoumé, où il comprend les calcaires à Requienia Lonsdalei (lesquels s'étendent sans solution de continuité jusqu'à Coudon par Tourris), les

(1) *Comptes rendus*, LXXIX, 1115.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 498.
(3) *Comptes rendus*, LXXX, 1108.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 457.

calcaires à Ostrea flabella, à O. columba, à Caprina adversa, à Sphérulites, à Hemiaster Verneuili, puis les marnes à Cidaris sceptrifera et Rhynchonella Mantelli, des sables blancs *turoniens*, et enfin un calcaire à hippurites.

BELGIQUE.

La carte géologique de la Belgique par Dumont exige un assez grand nombre de modifications, par suite des progrès qui ont été réalisés depuis la mort de ce savant et, d'après M. Dupont (1), voici à quoi elles se réduisent : — 1° Le terrain ardoisier du Brabant et du Condroz est, non pas du terrain dévonien inférieur, mais du terrain *silurien* qui constitue un nouveau terme dans la série géologique belge. — 2° Les couches à poudingues, adossées au terrain silurien du Condroz, devront probablement se répartir dans les divers étages du terrain *dévonien* de l'Ardenne, d'après les observations de M. Gosselet, vérifiées récemment par M. Mourlon. — 3° Les petites bandes et îlots calcaires, désignés par d'Omalius d'Halloy sous le nom de Calcaire de Couvin et de Calcaire de Frasnes, doivent être séparés du calcaire à Stringocéphales et être réunis, les uns aux *schistes à calcéoles*, les autres aux *schistes de Famenne*. — 4° Les couches schisteuses, intercalées dans le calcaire *dévonien* de la bande de Rhisnes, doivent être réunies à ce calcaire. Ces quatre résultats sont dus à M. Gosselet. — 5° A la suite de la découverte de débris de conifères dans le terrain *crétacé* inférieur du Hainaut par MM. Briart et Cornet, M. l'abbé Coemans a prouvé que ce terrain, qui y montre un petit affleurement, est d'âge bien distinct de celui d'Aix-la-Chapelle. — 6° La *meule de Bracquegnies* et le *calcaire grossier de Mons*, découverts par les mêmes géologues, devront figurer comme nouveaux termes dans la série géologique belge. — 7° L'étage *panisélien* semble constituer dans le Hainaut deux dépôts distincts. — 8° M. Nyst a découvert des fossiles *scaldisiens* dans les environs de Turnhout, ce qui augmente l'étendue de ce dépôt. — 9° Il y a lieu d'indiquer dans le Condroz et l'Ardenne, les dépôts de *cailloux roulés* et de *limon quaternaire*, comme Dumont l'a fait dans la moyenne et dans la basse Belgique.

Conformément à l'avis de MM. Dewalque et Briart, l'Aca-

(1) Dewalque : *Documents relatifs à la publication d'une nouvelle carte géologique de la Belgique*; Bruxelles, 1875. — *Bull. Acad.*, t. XLI, 12.

démie de Bruxelles a toutefois émis le vœu qu'il fût procédé à l'exécution d'une carte géologique détaillée, au lieu de publier une édition nouvelle de la carte de Dumont.

SUISSE.

Le relevé géologique de la Suisse continue à faire de grands progrès (1). La Commission fédérale a publié la carte au 25.000e du massif du Sentis faite par Escher de la Linth. M. de Tribolet a étudié la géologie des environs de Lauterbrunnen et M. Rothenbach la vallée du Trümmletenthal. M. Studer a expliqué la géologie du Saint-Gothard et le Gouvernement suisse a publié le catalogue des couches rencontrées dans le percement de cette montagne depuis la tête méridionale du *tunnel jusqu'à* 136 mètres, à travers les dolomies, les calcaires et les micaschistes, et depuis la tête nord jusqu'à 363 mètres, à travers le granite gneissique, qui, vers 200 mètres, commence à être associé à des micaschistes.

Enfin M. Moesch a fait paraître l'explication de la partie de la feuille VIII de la carte fédérale qui représente le Jura argovien.

Jura suisse. — L'espace compris entre les divers chaînons qui constituent le Jura est occupé en grande partie par les divers étages du groupe *néocomien* et par la mollasse *miocène*. Ces terrains sont redressés contre les couches du calcaire *jurassique*, ce qui est singulièrement favorable à la formation de sources abondantes. La plupart apparaissent au fond même du bassin ou du vallon, c'est-à-dire dans des conditions identiques avec celles des puits artésiens. Cependant certains vallons sont à peu près dépourvus de sources. Tel est celui de la Chaux-de-Fonds, à l'altitude de 1.000 mètres au-dessus de la mer. Partant de l'étude géologique et stratigraphique du district, M. Jaccard (2) a pensé qu'un forage à travers les couches tertiaires amènerait la rencontre d'une ou de plusieurs *nappes souterraines* dont l'eau suffirait à alimenter la localité. Un sondage a été entrepris en 1874 et il est parvenu à la profondeur de 65 mètres en traversant une assise de calcaire lacustre crayeux. L'eau, non ascendante, a été trouvée à 12 mètres de profondeur. Pour trouver l'eau ascendante, il faudrait pousser le sondage à travers une assise de marne de 30

(1) Voir *Revue géologique suisse*, 1874, 6.
(2) Communication de l'auteur.

à 50 mètres d'épaisseur, au-dessous de laquelle on trouverait la mollasse marine à l'état de grès grossier et de sables aquifères. L'eau ne serait probablement pas jaillissante et il faudrait l'élever, mais du moins on aurait sur place l'élément indispensable à la prospérité de cette industrieuse cité, qui est absolument dépourvue de fontaines.

AUTRICHE-HONGRIE.

M. le Chevalier Franz de Hauer a publié une seconde édition de la petite carte géologique, à l'échelle du 2.016.000e, qui résume l'ensemble des recherches du *K. K. geologische Reichsanstalt* sur la géologie de l'empire austro-hongrois. En outre il a terminé sa belle carte à l'échelle du 576.000me.

MONZONI. — M. Doelter (1) a donné une description géologique du massif du Monzoni, dans le Tyrol méridional. Après avoir rappelé les travaux des précédents observateurs, notamment ceux de MM. de Richthofen et B. de Cotta, l'auteur définit les roches du massif, qui sont : *granite*, *diorite*, *porphyre quartzifère*, *granite de Predazzo*, *Monzonite* (syénite du Monzoni), *mélaphyre* (porphyre augitique) et *porphyre à orthose*. Quant à l'*hypérite* de M. de Richthofen, M. Doelter y voit un mélange d'augite avec un feldspath triclinique, probablement du labrador, contenant, comme éléments accessoires, la biotite, l'hornblende, l'orthose, le fer magnétique et le spinelle.

Le nom de monzonite désigne moins une roche particulière qu'un ensemble de roches géologiquement alliées, et qui oscillent entre le type de la syénite et celui de la diorite.

Le travail de M. Doelter est accompagné d'une carte géologique à l'échelle du 12.500e, avec courbes de niveau espacées de 100 mètres. Les divers filons de mélaphyre et de porphyrite y ont été représentés.

Le même sujet a été traité par M. vom Rath (2), qui arrive à des conclusions différentes. La roche fondamentale du Monzoni lui paraît être une *syénite pyroxénique*, essentiellement formée d'orthose, de feldspath triclinique et d'augite. Quant à l'hypérite de Richthofen, où M. de Lapparent (3) n'avait vu que de l'amphibole, M. vom Rath, à l'exemple de M. Tschermak, la

(1) *Jahrb. d. k. k. g. R.*, 1875, XXV.
(2) *Der Monzoni*, Bonn, 1875.
(3) *Annales des mines*, 6e série, VI, 258.

regarde comme une *diabase* avec labrador, orthose, augite, mica, hornblende, titanite, magnétite, pyrite et apatite. L'auteur a recueilli des échantillons où l'on voit nettement la cristallisation de l'augite, et il en a conclu que la plupart des éléments amphiboliques de la monzonite possèdent les caractères de l'ouralite. Cependant il existerait aussi, au Monzoni, un *gabbro*, ou roche à diallage et de labrador, dans laquelle M. Websky a reconnu un diallage noir assez voisin de l'hypersthène.

Le travail de M. vom Rath contient, comme celui de M. Doelter, une énumération des gîtes de minéraux du Monzoni. On y trouve aussi des études sur les pseudomorphoses de serpentine et de fassaïte.

ALPES MÉRIDIONALES. — M. Stache (1) admet qu'il y a dans les Alpes méridionales deux horizons de *verrucano*; l'un, *inférieur* au porphyre du Tyrol méridional, est l'équivalent de celui de la Toscane, qui appartient au terrain *carbonifère*, comme M. Heer l'a montré d'après l'étude des plantes découvertes à Jano; l'autre, supérieur au porphyre, fait partie du terrain *permien*.

HONGRIE. — M. Maximilien de Hantken (2) a étudié les nummulites du terrain *tertiaire inférieur* dans la partie sud-ouest des montagnes centrales de la Hongrie. Ces fossiles sont extrêmement abondants dans la région indiquée et d'après leurs caractères, M. de Hantken n'y distingue pas moins de huit étages. En commençant par le bas, il indique successivement des nummulites striées, ponctuées, réticulées, lisses, aplaties (*explanatæ*), subréticulées et de nouveau striées. L'aspect de ces étages varie, d'ailleurs, d'un versant des montagnes à l'autre.

Mentionnons aussi, relativement à la Hongrie, la *Géographie physique* de M. Jean Hunfalvy, qui donne les cotes de plus de 12.000 points et les coordonnées géographiques de plus de 2.000 points. On y trouvera une description géologique du pays et, en outre, des notions sur sa météorologie ainsi que sur sa géographie botanique et zoologique.

ITALIE.

LAC DE CÔME. — M. Stoppani (3) a fait connaître les relations qui, suivant lui, ont existé entre l'époque glaciaire et la période

(1) *Jahrb. d. k. k. g. R.*, XXIV, 333. — *Revue géol. suisse*, 1874, 27.
(2) Extrait du Rapport de M. E. Sauvage sur l'Exposition de géographie de 1875.
(3) *Revue géol. suisse*, 1874, 40.

tertiaire. On voit, à la Folla d'Induno ainsi qu'aux environs du lac de Côme, une association intime entre les argiles bleues pliocènes, riches en fossiles, et le terrain glaciaire. On peut observer des cailloux striés dans l'argile même. M. Stoppani explique cette association en admettant que les glaciers des Alpes s'avançaient, comme aujourd'hui les glaciers polaires, jusqu'au bord de la mer pliocène.

Près de Côme, au N.-E. de Fino, on a récemment découvert, à la base d'une moraine glaciaire, au milieu même des cailloux et des blocs, une faune pliocène très-abondante.

Les glaciers de cette époque, en barrant les vallées latérales, auraient formé des lacs nombreux, dont un occupait le bassin lignitifère de Leffe. Sur ses bords se développait une flore de région tempérée, formée de pins, noyers, châtaigniers, magnolias, avec une faune d'éléphants (E. meridionalis), de rhinocéros, de cerfs et de bœufs. Les sables du val d'Arno seraient ainsi contemporains du terrain glaciaire et indiqueraient le rivage de l'Adriatique à l'époque où ce terrain se déposait.

Comme nous l'avons vu précédemment, MM. Piette et Trutat sont arrivés, pour les Pyrénées, à des conclusions du même genre.

M. Desor (1) a confirmé, par ses observations sur le lac de Côme, les découvertes de M. Stoppani. Mais ces conclusions ont été fortement contestées par MM. Meyer, Alph. Favre et de Mortillet. Pour eux, l'intercalation des marnes subapennines dans le glaciaire est purement mécanique et la faune pliocène, dont le caractère tropical est bien accusé, n'a pu vivre dans des fjords visités par la glace.

Italie centrale.— M. Coquand (2), dans une note sur la géologie de l'Italie centrale, fait l'historique des discussions auxquelles les terrains de cette région ont donné lieu, et constate qu'il a définitivement obtenu gain de cause pour les cinq modifications importantes introduites par lui en 1845, dans la classification des couches de la Toscane, à savoir : 1° les marbres statuaires, reconnus comme *paléozoïques*; 2° le *calcare rosso*, représentant le *lias à gryphées* et le *lias moyen*; 3° l'attribution au *lias supérieur* des schistes bariolés et des jaspes stratifiés; 4° l'existence du *trias* en Toscane; 5° la reconnaissance des schistes cristallins comme *primaires*.

(1) *Revue géol. suisse*, 1874, 43.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 26.

CAUCASE.

M. Ernest Favre (1) a décrit la géologie de la partie centrale de la chaîne du Caucase. Le *granite* en forme l'axe : on trouve ensuite des roches cristallines, directement recouvertes par le terrain *jurassique* à fossiles du lias (Ammonites Thouarsensis) ou de l'oolithe (Amm. Murchisonæ, A. torulosus. A. Humphriesianus, A. tripartitus). Cette formation renferme des gisements de houille. Au-dessus vient une nouvelle série jurassique renfermant des formes calloviennes et bathoniennes (Amm. Parkinsoni, A. macrocephalus); puis une oolithe ferrugineuse à Belemnites hastatus et Amm. Jason; un calcaire compacte siliceux à Cidaris coronata; un calcaire cristallin à nérinées et à diceras; enfin un calcaire à ptérocères.

Le terrain *crétacé* montre les horizons suivants sur le versant nord de la chaîne : le néocomien avec Nautilus pseudoelegans, Ostrea Couloni, etc.; le gault à Belemnites minimus, Ammonites Milletianus, A. mammillaris, et la craie blanche à Inoceramus Cripsi et Ananchytes. Sur le versant méridional, le néocomien est sans fossiles et recouvert par l'urgonien; puis, après l'aptien et le gault, on trouve des calcaires à Belemnitella mucronata et Micraster coranguinum.

Le terrain *nummulitique* est peu représenté au Caucase. En revanche, la mer *sarmatique* y a laissé de riches dépôts.

AFRIQUE.

ALGÉRIE.

Iles du littoral nord-africain.—M. Vélain (2) a fait connaître la géologie des îles de la Méditerranée voisines du littoral africain. Sur les îles Zafarines, on observe des travertins rougeâtres avec des Helix qui vivent aujourd'hui sur la côte voisine. A l'île Rachsgoûn, à côté d'un basalte, se trouvent des travertins contenant des espèces d'eau douce et terrestres qui toutes sont actuellement vivantes en Algérie. Le même phénomène a lieu à

(1) *Bibl. univ. de Genève. — Archives des sciences*, déc. 1874.
(2) *Comptes rendus*, LXXVIII, 70.

l'île Galite. Par suite, toutes ces îles ont dû être originairement réunies à la côte.

ORAN. — M. Bleicher (1) a étudié la distribution des polypiers dans les terrains *tertiaires* de la province d'Oran (*sahélien*, *helvétien* et *cartennien* de M. Pomel). Il les divise en 1° disséminés et plus ou moins brisés dans les marnes et les roches détritiques; 2° disposés en couches irrégulières ou récifs au milieu des marnes sableuses et des grès; 3° fixés encore sur les rochers où ils ont vécu.

ALGER. — M. Ludovic Ville, inspecteur général des mines, chargé de la centralisation du service de la carte géologique de l'Algérie, vient de terminer un travail sur les *puits artésiens* de la province d'Alger. Faisant la description géologique des bassins artésiens reconnus jusqu'à ce jour, M. L. Ville étudie tous les sondages exécutés depuis la conquête jusqu'à la fin de 1875; il établit ensuite, pour chaque bassin, les conséquences qui se déduisent des puits creusés. M. L. Ville a aussi envoyé à l'Exposition de Géographie une carte géologique manuscrite de la province d'Alger qui est à l'échelle du 400.000e.

CONSTANTINE. — La province de Constantine a été étudiée par M. Tissot (2), qui vient de même d'en dresser une carte géologique à l'échelle du 400.000e. La légende distingue des terrains tertiaires, des terrains crétacés et jurassiques, subdivisés en étages nombreux; des schistes talqueux, du gneiss, des trapps, rachytes, porphyres, granites, etc.

M. Tissot a également exécuté la carte géologique au 400.000e du cercle de Bou-Saada, avec quelques régions voisines, comprenant la surface qui s'étend de 0°35′ à 2°45′ de longitude Est et de 33°33′ à 36° de latitude. C'est une partie méridionale des provinces d'Alger et de Constantine. Les terrains tertiaires et crétacés qui couvrent cette région ont été subdivisés en de nombreux étages.

Enfin M. Tissot a fait aussi quatre cartes géologiques, à l'échelle de 1.400.000e, qui sont encore manuscrites et représentent: le versant nord-ouest de l'Aurès; la partie nord-ouest de la subdivision de Batna; le versant sud-est de l'Aurès; les hauts plateaux sahariens dans l'ouest de la province de Constantine. Ces diverses régions sont situées dans la portion méridionale de la province de Constantine et en forment la majeure partie.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 284.
(2) Sauvage : *Rapport sur l'Exposition internationale de géographie.*

L chaîne de l'Aurès est située au sud de Batna; la carte des hauts plateaux s'étend au sud jusqu'à l'Oued Iteb. La topographie est faite d'après des renseignements fournis par l'autorité militaire, ou dus à l'obligeance du commandement. Le relief du sol est figuré par des courbes de niveau.

Toute cette région est occupée par des terrains quaternaires, tertiaires, crétacés et jurassiques supérieurs. Ces derniers sont subdivisés en étages, caractérisés par leurs fossiles. Sur la carte des hauts plateaux, tous les terrains post-pliocènes sont indiqués par une seule couleur. Dans l'Aurès, les diverses couches sont très entremêlées et n'affleurent qu'en bandes étroites.

Une légende générale et détaillée accompagne les cartes de M. Tissot et donne la correspondance des étages, indiqués sur les diverses cartes, entre eux et avec les terrains européens.

ABYSSINIE.

M. de Tribolet (1) a étudié une collection de minéraux et de roches recueillie dans la partie nord de l'Abyssinie, par M. Traub. Il y a reconnu les espèces suivantes : Pegmatite, Anamésite, Basalte amygdalaire, Malachite, Biotite, Hématite, Desmine, Prehnite, Sphérosidérite. Ces indications complètent et rectifient, sur certains points, les données fournies par la carte de M. Blanford (2).

ASIE.

OURAL.

M. Toula (3) a dressé la *carte géologique* de la partie moyenne et métallifère de la *chaîne de l'Oural*. Il a tracé les divisions suivantes :

1. Quaternaire et tertiaire.
2. Trias, marnes et grès avec traces de plantes.
3. Formation permienne. Grès cuprifère à plantes fossiles, calcaire, gypse.
4. Terrain houiller, calcaire carbonifère supérieur, calcaire à fusulines, grès à Stigmaria, calcaire à Productus gigas, grès et quartzite sans fossiles.

---

(1) *Soc. des sc. nat. de Neuchâtel*, 20 déc. 1874.
(2) *Revue de géologie*, XI, 179.
(3) *Neues Jahrbuch*, 1874, 980.

5. Dévonien. — Calcaires cristallins à Tentaculites et à Goniatites retrorsus. — Calcaires argileux à Cyathophyllum cæspitosum, Spirigera reticularis, Spirifer disjunctus.
Quartz, grès, schiste argileux et conglomérat sans fossiles.
6. Silurien. Calcaire à Favosites Gothlandica, Pentamerus Baschkiricus.
7. Schistes cristallins.
8. Granite et syénite.
9. Grünsteins (diorite, porphyre dioritique, porphyre augitique, hypérite, serpentine).

SIBÉRIE.

M. Belt (1) a étudié la constitution géologique des steppes sibériennes; on y observe surtout du sable et de l'argile. Les affleurements du sous-sol rocheux sont jonchés de débris, mais ne présenteraient aucun signe de l'action glaciaire. L'auteur pense que la mer n'a joué aucun rôle dans la formation de ces immenses plaines, où d'ailleurs on ne trouve aucune coquille marine, tandis qu'on y rencontre la Cyrena fluminalis. Dans son opinion, les glaces qui descendaient autrefois du pôle Nord, ont dû former une barrière contre laquelle les rivières venant du Sud s'arrêtaient en formant un lac d'eau douce. A mesure que les glaces se retiraient, l'étendue de ce lac, vers le Nord, augmentait.

TURKESTAN.

La Société géologique de Londres a reçu communication d'un mémoire de feu M. de Stoliczka, sur une exploration faite par lui dans les montagnes du Thian-Shan (Turkestan), depuis Kashgar jusqu'au lac Châderkul, situé sur la frontière russe (2).

L'auteur a traversé trois chaînes principales. La première, ou chaîne d'Artush, est formée de sables et d'argiles appartenant au *tertiaire supérieur*. La seconde, ou chaîne de Kokan, est formée sur son versant méridional, de sédiments anciens, tandis que son versant Nord est occupé par des *roches basaltiques* et des dépôts stratifiés avec fossiles d'apparence triasique. La troisième chaîne, dite de Terek-tagh, consiste en sédiments anciens, principalement de nature calcaire.

On doit au même savant quelques détails sur la route d'Yarkund à Shahidulla. Cette région présente des *roches métamorphiques*, des dépôts à fossiles *carbonifères*, des grès calcaires et des marnes glauconieuses d'âge *crétacé*. Le *loess* s'y rencontre dans quelques vallées.

(1) *Geol. Society*, 10 juin 1874.
(2) *Geol Society*, 21 juin 1874.

INDE.

Les dépôts avec plantes fossiles de l'Inde ont été étudiés par M. Blanford (1). Il paraîtrait que ces dépôts forment une série continue depuis le commencement de l'époque permienne jusqu'à la fin de la période *jurassique*. L'auteur pense que, pendant le dépôt du terrain permien, l'Inde, l'Afrique méridionale et l'Australie étaient unies par un continent et que cette liaison, du moins pour l'Inde et l'Afrique, a persisté jusqu'à la fin de l'époque miocène. La position de cet ancien continent serait jalonnée par une ligne de récifs coralliens qui existe dans la mer Arabique.

JAPON.

Ile d'Yesso. — M. W. P. Blake (2) a donné quelques détails sur la géologie de l'île d'Yesso. Les *formations volcaniques* en sont le trait dominant. La plupart des volcans de l'île peuvent être considérés comme éteints, ou du moins comme réduits à la condition de solfatares. Mais, il y a peu d'années, l'un des cônes voisins d'Hakodadi avait encore de violentes éruptions de pierre ponce et de cendres. A l'époque tertiaire ou post-tertiaire, l'activité volcanique de l'île a dû être considérable, car on y trouve presque partout un conglomérat bréchiforme, constitué par des fragments de trachytes, de laves et de scories.

Le noyau de l'île d'Yesso est formé par des *roches granitiques et métamorphiques*, qui sont aurifères, et assez disloquées. On observe aussi une série de schistes et de calcaires avec minerais de plomb, qui pourrait appartenir au terrain *carbonifère*, à en juger par une empreinte plus ou moins nette de calamite. Des fossiles *jurassiques* ou *crétacés* ont été recueillis dans l'est de l'île. Enfin on observe encore des dépôts marins *tertiaires* ou *post-tertiaires* dont les fossiles peuvent à peine être distingués des mollusques qui vivent actuellement sur les côtes.

Ces observations de M. Blake datent de 1862. Actuellement il existe à Yesso une commission géologique composée de Japonais placés sous la direction d'un géologue américain, M. Smyth Lyman, assisté de son compatriote M. Munroe. Le premier rapport de cette commission vient de paraître et fait bien augurer de son

(1) *Geol. Society*, 16 décembre 1874.
(2) *Geol. Mag.*, 1874, 464.

avenir. M. Lyman annonce la publication de cartes où non-seulement la topographie extérieure, mais encore l'allure souterraine des formations géologiques seront représentées par des courbes horizontales. Plusieurs systèmes de plissements ont été reconnus dans l'île et sont, dès à présent, appliqués par M. Lyman à la classification des terrains.

CHINE.

M. l'abbé David (1) a recueilli à Tinkiako, dans le Shensi, des végétaux fossiles dans une couche de houille. L'examen de ces végétaux, fait par M. Brongniart, a montré qu'aucun d'eux n'appartenait à l'époque houillère. Ils se rapprochent, au contraire, beaucoup de la flore *jurassique* de Scarborough.

Cependant le terrain *carbonifère* existe en Chine. M. P. Fischer (2) en a reconnu les fossiles dans une collection rapportée de Leán-Chan par M. David et M. Bayan (3), en examinant des échantillons du Yang-Tsee-Kiang, envoyés par Francis Garnier à M. Delesse, a distingué les Spirifer lineatus, Athyris ambigua, Productus costatus, Bellerophon tangentialis.

OCÉANIE.

SAINT-PAUL ET AMSTERDAM.

Comme M. de Hochstetter, M. Vélain (4) a étudié, dans l'Océan indien, la géologie des îles Saint-Paul et Amsterdam.

L'île Saint-Paul, entièrement volcanique et dépourvue de végétation, laisse apercevoir dans l'ordre de ses roches trois périodes d'éruption : la première, caractérisée par des roches acides et vitreuses, telles que les *ponces* et les *obsidiennes* ; la seconde, riche en produits basiques, *dolérites*, *basaltes* et *laves* ; enfin l'époque actuelle, qui a débuté par des *phénomènes geysériens* intenses, avec dépôt de silice, tandis que l'activité volcanique subissait un ralentissement notable, car maintenant elle ne se traduit plus que par des *sources thermales*.

---

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 406.
(2) *Ibid.*, 409.
(3) *Ibid.*, 406.
(4) *Comptes rendus*, LXXX, 998.

L'île Amsterdam est également volcanique, mais toute activité éruptive y a disparu. On y observe des *laves*, des chaussées basaltiques, des *trachytes* et des cônes de *scories*. La végétation y est abondante.

Toute faune terrestre ou ancienne fait absolument défaut sur ces deux îles, ce qui prouve combien leur formation est relativement récente.

SUMATRA.

On doit à M. Verbeek (1) une description géologique de la partie centrale de l'île de Sumatra. Les plus anciennes roches sont des *granites* et des *syénites*. On trouve ensuite des *formations carbonifères* ou permiennes, avec fusulines, contenant aussi des tiges d'encrines d'apparence triasique. Ces terrains ont été traversés par des épanchements de porphyres et de *grünsteins*, après lesquels on ne trouve plus que des dépôts *tertiaires*, formant trois groupes : 1° à la base, brèches, conglomérats, arkoses et schistes; 2° grès, argiles et houille avec débris de plantes et de poissons; 3° grès marneux à operculines; 4° calcaire à polypiers et orbitoïdes.

D'après les déterminations de MM. Rupert Jones, Geinitz, Heer, la série *tertiaire* de Sumatra appartient probablement tout entière à l'*éocène*. Les poissons ont leurs analogues dans l'éocène de Glaris et dans le sénonien de Westphalie. Les plantes sont plutôt miocènes, mais les oursins se rapportent aux types des Prenaster Alpinus et Periaster subglobosus de l'eocène suisse.

Enfin la période *tertiaire* à Sumatra s'est terminée par des épanchements de *trachytes* appartenant à deux âges : les uns *andésites*, en massifs ; les autres, mélange d'*andésites*, de *rétinites*, d'*obsidiennes* et de *ponces*, en volcans à cratères.

VICTORIA.

M. Brough Smyth (2) a étudié les gisements de charbon de terre de la colonie de Victoria, dont aucun ne paraît encore susceptible d'exploitation. La flore de ces gisements a un facies *mésozoïque*; d'un autre côté, dans la Tasmanie, dans la Nouvelle-Galles du Sud et dans le Queensland, la faune marine associée à cette même flore appartient au type *paléozoïque*.

(1) *Geol. Mag.*, 1875, 477.
(2) *Geological Survey of Victoria*, Melbourne, 1874.

NOUVELLE-ZÉLANDE.

M. F. W. Hutton (1) a résumé dans le tableau suivant la classification des terrains de la Nouvelle-Zélande.

Pleistocène	Alluvions	Dinornis, Mactra rudis.
Pliocène récent	Formation de Wanganui.	Pleurotoma Wanganuiensis, Chione assimilis.
Miocène supérieur	Formation de Parcora (avec couches de houille.)	Buccinum Robinsoni, Cerithium rugatum Chione vellicata, Corbula dubia, Turritella bicincta.
Miocène inférieur	Formation d'Ahuriri	Turbo superbus, Cardium spatiosum, Crassatella ampla, Ostrea ingens.
Éocène supérieur	Formation d'Oamaru (avec houille.)	Panopœa plicata, Pleurotoma hebes, Scalaria rotunda. Pecten Hochstetteri, Waldheimia gravida, Schizaster rotundatus.
Crétacé supérieur	Formation de Waipara (avec houille.)	Plesiosaurus, Belemnitella, Inoceramus Haastii. Plantes dicotylédones.
Jurassique moyen	Formation de Putataka (avec houille.)	Belemnites Aucklandica, Astarte Wallumbillaensis, Tæniopteris, Alethopteris.
Jurassique inférieur	Formation de Maitai	Ichthyosaurus, Inoceramus, Spirifera.
Trias	Formation de Wairoa	Monotis salinaria. Halobia Lommeli.
Paléozoïque	Formation de Kaikoura	Orthis. Polypiers.
	Formation de Tuamarina.	Orthoceras.
	Formation de Wanaka	Entièrement composées de schistes cristallins.
	Formation de Manipori	

AMÉRIQUE.

ÉTATS-UNIS.

Une *Carte géologique des États-Unis et du Canada* a été publiée par M. le professeur Frank H. Bradley (2). Cette carte, sur laquelle les terrains sont représentés simplement par des hachures noires, est spécialement destinée aux étudiants. Les divisions adop-

(1) *Geol. Mag.*, 1874, 515.
(2) Ivison à New-York.

tées sont celles du *Manuel de géologie* de M. Dana, mais les p cipales ont seules été conservées; toutefois le silurien inf est distingué du silurien supérieur, le sous-carbonifère du c bonifère et du permien. Le huronien du Canada a d'ailleurs été au silurien. Pour dresser sa carte, M. Bradley a eu recour travaux des géologues d'États et surtout à ceux du prof C. Hitchcock, ainsi qu'à la carte géologique qu'il a faite M. W. P. Blake pour l'*Atlas économique* de Walker.

MONTAGNES ROCHEUSES. — Nous avons parlé à diverses repris des découvertes de mammifères faites par M. Marsh dans terrains tertiaires des Montagnes Rocheuses. Il ne paraît inutile de donner un rapide aperçu des conditions géologiques ces dépôts (1).

Le premier bassin découvert est celui de la rivière Verte, born au sud par les monts Uintah. Il est *éocène*, d'eau douce, presqu horizontal et reposant en discordance sur les dépôts crétacés av couches de houille. Son épaisseur dépasse 2.000 mètres. On y trouvé 150 espèces de vertébrés. Un second lac, plus grand, exis tait à l'époque éocène au sud des monts Uintah. La faune de c lacs indique un climat tropical par le grand développement d mammifères tapiroïdes, des singes, crocodiles, lézards et ser pents.

Le bassin *miocène* de la rivière Blanche paraît s'être éte du 40e au 44e parallèle. L'épaisseur des couches est de 100 mètr Sa faune indique un climat beaucoup moins tropical que celui d bassin éocène. Un autre lac miocène existait sur le versant du Paci fique, près du milieu de l'État d'Orégon.

Enfin, un très-grand lac *pliocène* a recouvert ultérieurem la partie orientale du bassin miocène en s'étendant beaucoup p loin à l'est et au sud. L'épaisseur des couches atteint 500 mèt elles sont horizontales et leur faune indique un climat chaud te péré. Les mammifères les plus communs sont les mastodontes, rhinocéros, les chameaux et les chevaux; ces derniers sont sur abondants.

TERRITOIRES DE L'OUEST. — Des cartes géologiques, compre le parc national du Yellowstone ainsi que certaines parties territoire de Montana, du Wyoming et de l'Idaho, ont été

(1) *Revue de géologie*, X, 188; XI, 133.
(2) Voir *American Journal*, IX. — *Geol. Mag.*, 1875, 237.

bliées récemment par M. F. V. Hayden, secondé par MM. Peale et Bradley. Les relevés topographiques ont été faits par MM. Bechler et Burck. Les régions explorées se trouvent comprises entre le 43e et le 46e degré de latitude et sont traversées par les rivières Yellowstone, Madison, Gallatin, Snake. Elles sont très-accidentées et montrent des terrains variés.

Vers la base, on a rencontré des *roches granitiques* qui sont recouvertes successivement par le *silurien*, le *carbonifère*, le *triasique*, le *jurassique*, le *crétacé*, surmonté par des lignites et par le *tertiaire*. Les *roches volcaniques* occupent une grande étendue dans toute la région du Yellowstone. Les *sources minérales* et *thermales* y sont également très-nombreuses et il est à remarquer que beaucoup d'entre elles rejettent de la boue et donnent même lieu à des dépôts puissants d'*argile geysérienne*.

Dans un important rapport sur l'exploration géologique des territoires de l'Ouest, M. F. V. Hayden (1) fournit d'intéressants détails sur la contrée du Yellowstone, ainsi que sur les sources chaudes du Colorado, de l'Utah et de la rivière Snake.

Ce rapport comprend aussi un travail de M. Lesquereux sur la formation lignitifère et sur la flore fossile des montagnes Rocheuses et en outre des études paléontologiques de MM. Meek et Cope, ce dernier s'étant surtout occupé des mammifères tertiaires du Wisconsin.

GÉOLOGIE AGRONOMIQUE.

Dans un ouvrage spécial sur la *terre végétale*, M. Stanislas Meunier (2) recherche de quoi elle est faite, comment elle se forme, comment on l'améliore, et s'occupe spécialement de géologie agricole.

M. St. Meunier définit, dans la première partie de cet ouvrage, les principaux éléments qui composent la terre végétale : le sable, l'argile, le calcaire et l'humus; il donne la classification des terres végétales et les méthodes à employer pour leur analyse; puis il passe en revue les différents types de terres. Dans la seconde partie, il étudie le mode de formation des terres végétales, et dans

(1) *Sixth annual Report of the U. S. Geol. Survey of the Territories*, 1873.
(2) Rothschild, Paris, 1875.

la troisième partie, les méthodes d'amélioration soit par les amendements, soit par les engrais, en s'appesantissant principalement sur les engrais minéraux, et surtout sur le plâtre et les phosphates.

Une carte agricole de la France, dressée par M. Delesse et de laquelle il sera parlé plus loin, est jointe à l'ouvrage de M. Stanislas Meunier.

— Diverses *études géologiques et agronomiques* ont été faites par M. le professeur Albert Orth, de Berlin. Signalons, en particulier, ses tableaux qui figuraient à l'Exposition de Géographie et donnent pour l'Allemagne du Nord des coupes bien précises du terrain de transport. Destinés à l'enseignement dans les écoles primaires, ils sont à l'échelle du dixième; ils représentent avec netteté les relations du sol et du sous-sol, qui souvent diffèrent beaucoup sur des points très-rapprochés, et lorsqu'il s'agit du même terrain géologique. On peut déduire de ces tableaux un grand nombre de données sur l'amélioration de la terre végétale, ainsi que sur le choix de ses engrais et de ses cultures.

M. Orth a publié aussi une carte géologique et agronomique des environs de Rudersdorf. Prenant pour base la carte géologique de M. Eck, il y a ajouté des légendes qui sont inscrites en rouge et qui font connaître en décimètres les épaisseurs des couches composant sur divers points le sol et le sous-sol. La qualité de la terre végétale dépend, comme on sait, de la nature minéralogique, de la perméabilité, ainsi que de l'épaisseur de ces couches.

D'après le système de notation qui a été adopté par M. Orth, il est possible de représenter à la fois l'agronomie et la géologie sur une seule carte, non-seulement lorsqu'elle est à l'échelle du 5.000^e, mais même à l'échelle du 25.000^e ou à une échelle encore moindre.

Enfin, M. le professeur Albert Orth (1) a fait paraître, il y a quelques années, une étude agronomique sur la partie de la Silésie comprise entre les montagnes Zobten et Trebnitz. Cet ouvrage contient en outre les analyses d'un grand nombre de sols et de roches décomposées; il donne particulièrement les recherches faites dans plusieurs stations agricoles de l'Allemagne, sur la composition des dépôts actuels, ainsi que des terres végétales.

DEVONSHIRE. — M. J. Buckman (2) a montré les rapports qui

(1) *Geognostische Durchforschung des Schlesischen Schwemmlandes zwischen dem Zobtener und Trebnitzer Gebirge*, etc. Berlin, 1872.
(2) *Agricultural Society;* 1873.

existent entre la constitution géologique du comté de Devon et son agriculture.

BELINOIS. — Dans le département de la Sarthe, il existe une sous-région naturelle, nommée le *Belinois*, dont l'étude a été faite par M. A. Guillier (1). Comme le Pays de Bray, elle correspond à une sorte de boutonnière; mais cette dernière est dirigée du nord-est au sud-ouest, et n'a pas plus de 20 kilomètres de longueur. Le relèvement qui a produit la boutonnière a fait apparaître des calcaires argileux, bleuâtres, alternant avec de l'argile sableuse, et appartenant à l'étage oxfordien; cet étage exfordien, qui constitue presque tout le *Belinois*, donne un sol argilo-calcaire, assez perméable, fertile et très-propre à la culture du chanvre, ainsi que des céréales. Sur les bords de la boutonnière, les sables cénomaniens ferrugineux (*Roussard*) forment des falaises, puis de petits plateaux qui présentent un sol siliceux très-perméable, occupé surtout par des landes et par des sapinières; le seigle s'y récolte seulement dans lès meilleures parties. En résumé, le *Belinois* offre une sorte d'oasis entourée par un désert de sable, ce qui s'explique très-bien d'après son orographie et d'après sa constitution géologique.

VOUZIERS. — Une statistique agronomique de l'arrondissement de Vouziers, accompagnée d'une carte géologique agronomique, à l'échelle du 40.000ᵉ, a été publiée par MM. Meugy et Nivoit. On trouvera dans cet ouvrage un grand nombre de données sur la composition des eaux superficielles et souterraines, en sorte qu'il est facile d'apprécier les variations que les eaux présentent avec les terrains sur lesquels elles coulent. La composition chimique des différents étages géologiques de l'arrondissement, a également été déterminée aussi bien que celle des terres végétales qui les recouvrent. Mentionnons encore diverses études sur les cultures et sur les engrais, et en outre une description des communes de l'arrondissement.

Pour les analyses, qui sont très-nombreuses, les auteurs ont été secondés par MM. Létrange et Thomas.

MENDE. — M. Fabre (2) a exécuté une carte géologique, minéralogique et agronomique du canton de Mende. Ce canton présente une région constituée par des plateaux de calcaire jurassique,

(1) *Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe*, 1875.
(2) Grosjean : *Revue des Eaux et Forêts*, octobre 1874, 367.

ayant une altitude moyenne de 900 mètres, dominés et enserrés par les hauts massifs cristallins de la Boulaine (micaschiste), de la Margeride et du mont Lozère (granite); du côté de l'Ouest, les plateaux calcaires s'abaissent lentement vers le département de l'Aveyron, et constituent la remarquable région naturelle dite des *Causses*, qui imprime une physionomie si spéciale à cette partie de la France.

Les plateaux de calcaire jurassique, couronnés par des escarpements verticaux et ruiniformes de dolomie, sont coupés par les vallées profondes de la rivière du Lot et de l'un de ses affluents torrentiels, le Bramont; ils dominent, d'une hauteur de 300 mètres, deux régions accidentées et caractérisées par le terrain liasique, savoir : les environs de Mende et le Valdonnez.

Cette constitution géologique s'affirme par des formes orographiques particulières et de plus par la distribution des cultures qui en est la conséquence.

Les deux régions liasiques sont des terres à froment généralement fertiles. Les *Causses* (calcaires et dolomies de l'oolithe) sont dénudés sur leurs pentes abruptes et, pour ainsi dire, stériles sur leurs plateaux. La région schisteuse de la Boulaine est essentiellement forestière, malgré l'extension outrée de la culture du seigle. Quant aux régions granitiques qui devraient allier la culture pastorale à celle des forêts, elles présentent généralement des surfaces dénudées par la culture extensive du seigle.

Les forêts font absolument défaut sur les calcaires et sur les dolomies de l'oolithe inférieure, roches perméables, d'une nudité et d'une aridité exceptionnelles. D'un autre côté, sur les granites et sur les schistes cristallins, terrains essentiellement imperméables et ravinés, les forêts occupent à peine le vingtième de la superficie, tandis qu'elles devraient en recouvrir les deux tiers.

VALAIS. — Les *Brisés* du Valais, que les géologues de la Suisse désignent sous le nom de *schistes gris* ou *lustrés*, sont très-répandus dans les Alpes, principalement dans les Grisons et sur la rive gauche du Rhône, jusqu'à la vallée d'Aoste; on les emploie beaucoup comme amendement dans le vignoble de Sion et d'après M. E. Risler (1), un échantillon-type de cette roche présente la composition suivante :

(1) *Journal de la Société d'agriculture de la Suisse romande*, 1875.

HUMIDITÉ.	EAU COMBINÉE, matières organiques et perte.	PARTIE attaquable par l'eau régale.								PARTIE inattaquable par l'eau régale.	
		Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO	CaO	NaO	KO	PO^5	CO^2	Totale	KO inattaquable.
0,06	1,31	0,60	1,34	0,46	13,95	0,06	0,09	0,08	11,28	70,78	2,19

La valeur fertilisante des *brisés* n'est pas due seulement, d'après M. E. Risler, à la potasse qu'ils renferment, car beaucoup de terres ordinaires contiennent autant de potasse attaquable que l'échantillon analysé, mais principalement à leur action physique. Leurs surfaces brillantes, réfléchissent au-dessus d'eux et renvoient aux raisins, la chaleur qu'ils reçoivent du soleil, tandis qu'ils conservent au-dessous d'eux l'humidité dont ils empêchent l'évaporation.

On a observé enfin que là où l'on recouvre une vigne d'environ $0^m,3$ d'épaisseur de *brisés*, la récolte devient très-grande pendant une ou deux années. Du reste, pour des terres très-argileuses, les effets physiques peuvent se prolonger ; en effet, par suite de cet apport de fragments pierreux, elles deviennent alors plus perméables.

Les *brisés* du Valais sont donc moins un engrais qu'un amendement, qui est d'ailleurs très-lourd, relativement à sa valeur.

FRANCONIE.—MM. Hilger et Fr. Nies (1) ont constaté que, dans la basse Franconie, aux environs de Wurzbourg, le *Röth*, argile rouge qui forme la partie supérieure du grès bigarré, se montre très-favorable à la culture de la vigne. Près de Thungersheim, où il y a de la vigne sur le muschelkalk, on a même soin d'y apporter du *Röth*. Cette pratique et la répartition habituelle de la vigne sur le *Röth*, s'expliquent naturellement, par la richesse de cette roche argileuse en acide phosphorique et en potasse. Elle est d'ailleurs analogue à celle de laquelle nous venons de parler, et qui, dans le Valais, fait améliorer les vignes en y ajoutant les *Schistes lustrés*, connus sous le nom de *Brisés*. Elle est analogue encore à celle qui utilise le schiste ardoisier comme engrais pour les vignes, selon l'usage adopté à Huy en Belgique. Dans ces différents pays, l'argile et les schistes répandus sur les terres servent à la fois d'engrais et d'amendements.

Influence du sol sur le rendement des forêts.

Un forestier bavarois (2) a recherché quel est l'accroissement

(1) *Mittheil. a. d. agricult. Laborat. zu Würzburg.*

(2) *Beilage zur Allgemeinen Zeitung*, 2 février 1875. Augsbourg.

annuel des arbres des forêts, lorsque, se développant dans des conditions identiques, ils se trouvent sur des formations géologiques différentes. Pour une rotation de 120 années, il estime que la production anuuelle du bois, sur un hectare de diverses roches, est la suivante :

	mèt. cub.		mèt. cub.
Gneiss	8,00	Grès bigarré	3,7[illegible]
Granite	7,80	Muschelkalk	6,4[illegible]
Schistes primitifs (Urthonschiefer).	2,66	Keuper argileux	4,5[illegible]
— argileux	6,99	— sableux	1,8[illegible]
Grès rouge (Rothliegende)	4,54	Sable meuble	[illegible]

C'est sur les sols sableux, dépourvus d'argile, que la production du bois est de beaucoup la plus faible.

Ces résultats montrent bien que la carte géologique d'un pays fournit d'utiles notions sur son agriculture, et il serait à désirer que l'Administration des Forêts fît évaluer la production correspondante à chaque terrain dans les différentes régions de la France.

Il est à remarquer d'ailleurs que les données précédentes sont comparables, seulement lorsqu'on considère une même essence d'arbres soumise au même mode d'exploitation, toutes les autres conditions physiques, hydrologiques et climatologiques restent en outre les mêmes. Car, ainsi que l'a constaté M. Clavé, le chêne s'accommode très-bien d'un sol argileux, tandis que le hêtre y languit; par contre, ce dernier végète parfaitement dans les sols calcaires et peu profonds qui ne conviennent pas au chêne. Enfin, les pins sylvestres, et surtout les pins maritimes, poussent avec vigueur sur les sables les plus pauvres, tels que les sables moyens et supérieurs du Bassin parisien et les sables des dunes ou des landes de Gascogne; de plus ils transforment ces sables en une terre végétale assez riche pour qu'on puisse ensuite y cultiver des chênes.

Cartes agricoles.

Différents systèmes ont été employés pour représenter, au moyen de cartes, la répartition des richesses agricoles d'un pays. Dans le système qu'il a suivi, M. Delesse (1) s'est basé plus spécialement sur le revenu des terres, et il a cherché à en faire l'application à la France.

Si l'on veut connaître, par l'expérience, le revenu de la terre dans un pays, il devient nécessaire de déterminer, par des pesées ou par des mesures directes, les récoltes qui sont fournies, chaque

(1) *Bulletin de la Société de géographie*, de 1874.

année, par un hectare des différentes cultures; mais à ces cultures correspondent des récoltes très-dissemblables, car les terres arables donnent des céréales et des plantes alimentaires ou industrielles, les vignes fournissent des vins, les prés des fourrages, les bois des produits qui servent au chauffage et aux constructions; aussi, pour parvenir à comparer ces récoltes entre elles, faut-il nécessairement les ramener à une commune mesure, c'est-à-dire estimer, en définitive, leur valeur en argent.

En résumé, le revenu net rapporté par une terre donne sur sa valeur une notion beaucoup plus précise que ne pourrait le faire l'analyse chimique la plus complète, en sorte qu'il doit naturellement servir de base à l'établissement d'une carte agricole. C'est d'après ces principes que M. Delesse a exécuté la *Carte agricole de la France.*

FRANCE. — Les évaluations du revenu, pour les différentes cultures, ont été prises dans un important travail de statistique agricole, exécuté par l'Administration des Contributions Directes. Les nombreux agents de cette Administration, qui en ont été chargés, l'ont basé sur des enquêtes spéciales qui ont eu lieu dans chaque commune. De plus, les chiffres qu'ils ont trouvés dans ces premières enquêtes ont été soumis à plusieurs révisions et contrôlés, successivement, dans les chefs-lieux de canton, d'arrondissement et de département. Le soin apporté à leur détermination était d'autant plus grand que, d'après l'Assemblée nationale, ils devaient ensuite servir de base à une répartition plus équitable de l'impôt foncier. Bien que les chiffres adoptés aient subi des variations très-notables depuis cette époque, et bien que, dans les détails, ils paraissent être entachés d'inexactitude, ils méritent donc confiance; du reste, actuellement, on ne possède pas de données plus complètes sur le revenu territorial de la France.

Chacune de ces cultures a d'abord été représentée par une couleur conventionnelle distincte; puis elle a reçu des nuances d'autant plus foncées qu'elle donnait un revenu plus considérable.

Mais, pour graduer ces nuances méthodiquement, il fallait commencer par tracer les courbes d'égal revenu. C'est ce que l'on a fait en étudiant les chiffres du revenu, et en tenant compte à la fois de la forme présentée par le canton et du tracé de ses limites. En outre, on a eu égard à l'altitude et à la composition minéralogique de la terre, qui exercent une influence si grande sur sa fertilité et, par suite, sur son revenu.

Si l'on considère d'abord les terres arables qui occupent la plus grande surface sur notre sol, elles sont soumises à une culture essentiellement variable, et leurs produits changent chaque année; toutefois, il est possible d'évaluer en argent leurs revenus moyens annuels. Les chiffres qui les représentent, dans les cantons, ont permis de tracer les courbes correspondant aux revenus annuels de 20, 40, 60, 80, 100 et 120 francs par hectare.

Maintenant les bois, les prés, les vignes, occupent des surfaces beaucoup moins étendues que les terres arables; de plus, ce sont des cultures qui restent les mêmes pendant un certain nombre d'années et sont relativement permanentes. Prenant pour base les chiffres de leur revenu moyen annuel, on a tracé, de la même manière, les courbes d'égal revenu qui leur correspondent. Ensuite, chacune des cultures a été représentée par des couleurs conventionnelles; puis les nuances en ont été graduées, d'après les revenus, et circonscrites aux limites données par les diverses courbes.

Il importe, d'ailleurs, d'observer que les cotes des courbes indiquent seulement le revenu moyen; en sorte qu'entre deux courbes consécutives on peut très-bien trouver un revenu supérieur ou inférieur. On sait aussi que le revenu de la terre varie beaucoup, non-seulement dans une même commune, mais encore sur des points très-rapprochés.

La *Carte agricole* qui accompagne la notice de M. Delesse est une réduction au 4.000.000[e] de celle sur laquelle les études ont été faites d'après la méthode qui vient d'être exposée; elle a été dessinée par M. Al. Babinski. Malgré la petitesse de son échelle, elle montre d'une manière assez simple et bien propre à frapper les yeux, comment sont réparties les richesses agricoles de la France.

Les causes qui peuvent influer sur le revenu de la terre étant extrêmement complexes, il convient de les étudier séparément, afin de se rendre bien compte des effets qui sont produits par chacune d'elles; se bornant aux principales, l'auteur distingue spécialement le climat et la nature de la terre, son humidité, son épaisseur, sa pente et ses conditions économiques.

Sans entrer dans des détails spéciaux relativement aux différentes cultures, indiquons seulement, d'après la *Carte agricole de la France*, comment sont réparties les terres qui donnent le plus grand ou le plus petit revenu.

Les terres dont le revenu est le plus grand occupent le fond des bassins hydrographiques; elles s'étendent dans les vallées comme

celles de la Limagne et du Grésivaudan ; elles bordent les rivières et les cours d'eau, s'élargissant avec les vallées et augmentent vers les confluents ; elles se développent surtout vers la partie inférieure et moyenne des grands fleuves, notamment le long de la Seine et de l'Oise, du Rhône, de la Saône et de l'Ardèche, de la Garonne, de la Loire, du Rhin. Elles bordent aussi certaines côtes maritimes comme celles de la Provence, du Languedoc, du nord de la Bretagne. Elles couvrent des plaines comme celles de Caen, de la Flandre, du Hainaut, de l'Artois, de l'Ile-de-France, de l'Alsace, de Mâcon, d'Avignon, de Nîmes, de Montpellier, de Toulouse et de la Guienne; de plus, elles se retrouvent sur certains plateaux peu élevés, comme le pays de Caux, la Picardie, la Beauce, la Brie, ou bien sur des collines ayant une altitude et une inclinaison moyennes, comme celles de la vallée d'Auge, du pays de Bray et du Vivarais. Enfin elles forment des zones concentriques et à revenu décroissant autour des centres de population, surtout autour de Paris, de Lyon et de Clermont en Auvergne.

Les terres dont le revenu est le plus petit occupent, au contraire, les parties les plus élevées ; elles longent les flancs des collines ou des montagnes qui ont de fortes pentes ; elles s'étendent, en général, sur les régions montagneuses. En particulier, elles suivent les parties hautes et inclinées des Alpes, des Cévennes et du Plateau central. Dans ce dernier plateau, elles envahissent largement le Limousin, la Marche, le Bourbonnais, la Margeride, le Rouergue et la montagne Noire.

D'un autre côté, des terres donnant un faible revenu couvrent aussi des régions montagneuses peu élevées ; elles s'étendent, par exemple, sur un sol granitique, comme le Morvan, ou bien sur un sol schisteux et granitique, comme l'intérieur de la Bretagne et de la Vendée; elles s'étendent, également, sur un sol calcaire, comme les plateaux des Causses et du haut Poitou, les collines jurassiques entre les sources de la Seine et de l'Ornain. Enfin elles occupent encore des plaines peu élevées dans lesquelles le sol est tantôt argileux, comme dans la Dombes, tantôt plus ou moins sableux, comme dans la Brenne, dans la Sologne et dans les Landes.

— Sous le titre de *France agricole*, M. Gustave Heuzé, inspecteur général de l'agriculture, vient de faire paraître un Atlas contenant une notice sur les diverses régions agricoles de notre pays, avec des tableaux de statistique générale et 46 cartes géographiques et statistiques qui résument les principales données relatives à la situation actuelle de l'agriculture française. Ces cartes,

qui sont imprimées en chromolithographie et accompagnées de notices explicatives, montrent la répartition des richesses végétales et animales sur le sol de la France, et, par leur examen, le géologue peut facilement apprécier l'influence que la composition minéralogique de ce sol exerce sur leur répartition.

— Relativement à l'exécution des cartes agricoles, mentionnons encore une publication de M. le docteur George Mayr (1) qui résume, à la suite du congrès de statistique de Saint-Pétersbourg, les divers systèmes auxquels il est possible d'avoir recours, lorsqu'on veut représenter, par la méthode graphique et géographique, les données de la statistique ainsi que de l'agriculture.

CINQUIÈME PARTIE.

MODIFICATIONS DES ROCHES (*).

Nous résumerons encore les travaux qui sont relatifs aux diverses modifications des roches et au métamorphisme, ce mot étant pris dans son acception la plus étendue.

Miroirs.

On sait que les roches, particulièrement lorsqu'elles sont en filons, présentent souvent les surfaces polies et striées par glissement que les mineurs désignent sous le nom de *miroirs*. Il y en a fréquemment dans la serpentine, mais on en rencontre également dans les roches sédimentaires, et M. Ogier Ward (2) a spécialement étudié le phénomène des miroirs dans la craie. Aux environs d'Eastbourne, de Brighton, de Lewes, il y a observé des stries (*Slickensides*) qui ont quelquefois des directions différentes pour un même bloc. Toutefois, sur une même surface, les stries sont parallèles et ont une direction unique. Elles suivent toutes les irrégularités de la surface et, dans certains cas, elles peuvent même être horizontales.

---

(1) *Gutachten über die Anwendung*, etc. Munich, 1871.
(*) Cette partie a été traitée par M. Delesse.
(2) *Quarterly J. Geol. Soc.*, XXXI, 113.

M. Ogier Ward constate que les stries (*Slickensides*) sont simplement superficielles et qu'elles n'ont aucun rapport avec la structure conique (*cone in cone*) qui est au contraire inhérente à la substance elle-même.

Déformations de fossiles appréciées au moyen de la conductibilité des roches pour la chaleur.

M. Henry Dufet (1), agrégé préparateur à l'École normale supérieure, a montré que certaines roches schisteuses n'ont pas, dans le plan de schistosité, une égale conductibilité pour la chaleur; l'ellipsoïde formé par les points d'égale température autour d'un point échauffé présente trois axes inégaux, et quelquefois il se rapproche beaucoup d'un ellipsoïde de révolution allongé.

Cette observation a permis à M. Dufet de tenir compte des déformations subies par les fossiles contenus dans ces roches. Les schistes, sur lesquels les recherches ont été faites, avaient été recueillis à Sion (Loire-Inférieure), localité bien connue pour ses trilobites appartenant à la zone à Calymene Tristani. Leurs déformations proviennent, comme l'a montré M. Dufet, d'une pression perpendiculaire au plan de schistosité, et ayant déterminé, dans ce plan, un écoulement inégal de la roche au moment où elle possédait encore une certaine plasticité. Deux lignes perpendiculaires primitivement, comme sont l'axe du trilobite et le bord du bouclier céphalique, deviennent par la compression deux diamètres conjugués de l'ellipse que donnerait par déformation un cercle contenu dans le plan de schistosité. Les angles que font ces deux lignes entre elles et avec l'axe de l'ellipse, déterminé par la ligne de plus grande conductibilité calorifique, permettent de construire cette courbe et par suite de retrouver, soit par le calcul, soit, plus simplement, par une construction graphique, les vraies dimensions du trilobite déformé.

En opérant ainsi, M. Dufet a pu donner une diagnose plus exacte de l'espèce la plus commune dans ces schistes, Ogygia Brongniarti, M. Rouault (Og. Desmaresti, Br.). Les caractères des Ogygies de Bretagne sont discutés dans cette note, en même temps qu'est décrite une espèce nouvelle, Ogygia (?) Delessei, Dufet, caractérisée par l'obliquité des segments de son pygidium, l'étroitesse du lobe médian et l'existence d'une pointe à l'extrémité du pygidium; cette espèce semble avoir été confondue avec Ogygia Brongniarti ou avec Ogygia Edwardsi.

(1) *Annales scientifiques de l'École normale supérieure*, mai 1875.

Production des minéraux.

Péridot, pyroxène.

M. Lechartier (1) a obtenu des cristaux de péridot ou de pyroxène, en faisant fondre du chlorure de calcium avec de la silice, du kaolin et de la magnésie, ou bien avec de la chaux et de l'oxyde de fer, c'est-à-dire avec les substances qui sont nécessaires à la formation de ces minéraux.

Platine magnétipolaire.

Certains échantillons de platine natif, non-seulement agissent sur l'aiguille aimantée, mais encore sont *magnétipolaires*, à la manière de véritables aimants. Le platine doué de cette propriété est toujours allié à une quantité de fer très-notable qui va jusqu'à 12 p. 100, ainsi que cela résulte des recherches de Berzélius et de M. Henry Sainte-Claire Deville (2).

Les pépites de platine étant des alliages très-complexes des métaux qui appartiennent au groupe du platine et de plusieurs autres, M. Daubrée (3) a pensé que pour se rendre compte de la cause de leur polarité magnétique, il convenait de procéder par la synthèse.

Il résulte d'une série d'expériences dans lesquelles M. Daubrée a fondu du platine avec du fer, que la présence de ce dernier métal, dans une proportion voisine de celle où il se trouve dans les pépites naturelles magnétipolaires, donne des alliages qui, au sortir même du creuset, manifestent également un magnétisme polaire très-prononcé, et cela sans passer par aucune opération spéciale, par aucune touche.

Cet état magnétipolaire, qui s'acquiert en peu d'instants, ne peut provenir que d'une forte induction magnétique, qu'il était très-naturel d'attribuer à l'influence du globe. Pour contrôler cette explication et voir quelle est l'action inductrice du globe, sur la situation des pôles qui prennent ainsi naissance, M. Daubrée a fondu un petit barreau, en le disposant pendant sa fusion dans le plan du méridien magnétique. Dès qu'il a été solidifié, il a été placé encore très-chaud parallèlement à l'aiguille

(1) *Comptes rendus*, LXXV, 487. — *Revue de géologie*, VII, 311.
(2) *Comptes rendus*, LXXX, 589.
(3) *Comptes rendus*, LXXX, 526.

d'inclinaison jusqu'à son refroidissement complet. Le barreau ainsi obtenu présente vers ses extrémités deux pôles très-énergiques, qui sont disposés exactement comme ceux de l'aiguille aimantée. On peut s'assurer que cette disposition des pôles n'est pas fortuite ; car, ce même barreau chauffé au rouge, et dans une situation diamétralement inverse de celle de la précédente expérience, prend des pôles aussi énergiques que les premiers, mais ses pôles sont renversés.

Ces faits, dit M. Daubrée, montrent l'importance que l'action générale du globe doit avoir eue sur la disposition des pôles dans les divers minéraux et roches magnétiques, au moment où ces minéraux et ces roches se sont formés, importance qu'elle possède encore à tout instant.

Pseudomorphisme.

Bois changé en gypse.

Dans son exploration de la région des Chotts (Algérie), M. H. Le Chatelier a constaté d'une manière bien nette que le bois peut être pseudomorphosé par le gypse. Les troncs d'arbres enfouis dans le sable et surtout leurs racines présentent, en effet, des transformations en gypse qui s'opèrent graduellement et progressent de la circonférence vers le centre, de sorte que les parties centrales et les plus dures sont altérées les dernières. Ce pseudomorphisme se produit encore maintenant et doit simplement être attribué à l'action de l'humidité circulant dans le sable des Chotts qui est lui-même plus ou moins imprégné de gypse.

Décomposition.

Transformation des roches en terre végétale.

OUXTENS. — Deux échantillons provenant de la décomposition de a mollasse grise, lacustre, des environs de Lausanne, formant (I) le sol végétal et (II) le sous-sol dans un pré de Jouxtens, ont été étudiés comparativement par M. E. Risler (1); le tableau suivant résume l'ensemble de leurs propriétés.

(1) *Journal de la Société d'agriculture de la Suisse romande*, 1875.

	Densité.	Pouvoir absorbant pour l'eau.	ANALYSE physique. Pierres.	Sable.	Argile.	ANALYSE CHIMIQUE. PARTIE ATTAQUABLE PAR L'EAU RÉGALE. Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PO^5	CO^2	Eau.	Matières organiq.	Az.
I	2,64	29,9	3,46	83,57?	12,97	2,24	3,06	0,59	1,46	0,06	0,04	0,04	0,56	1,30	1,76	0,0[illegible]
II	2,67	16,9	1,03	93,13	5,84	1,98	3,35	2,73	3,55	0,04	0,02	0,03	1,61	1,20	1,51	?

Ainsi, dans la transformation de la mollasse lacustre en terre végétale, il y a légère diminution de densité, augmentation du pouvoir absorbant pour l'eau, et en même temps accroissement de la proportion d'argile. En ce qui concerne la composition chimique, on voit que le sol végétal contient plus d'acide phosphorique, de potasse et de matières organiques que le *sous-sol* aux dépens duquel il est formé, mais qu'il a beaucoup moins de carbonate de chaux et de magnésie : ces résultats s'expliquent facilement et sont conformes à ceux qui ont été obtenus déjà pour d'autres sols.

VAUD. — Des recherches analogues ont encore été faites par M. E. Risler sur l'argile bleue compacte, nommée *diot*, laquelle est d'origine glaciaire et tapisse le fond des bassins de la Suisse et de la Savoie qui étaient autrefois occupés par les glaces. Trois échantillons ont été pris, sur un même point, dans un pré, (I) à 0m,15 de profondeur, (II) à 0m,30 et (III) à 0m,40.

	Pouvoir absorbant pour l'eau.	ANALYSE physique. Pierres.	Sable.	Argile.	ANALYSE CHIMIQUE. PARTIE ATTAQUABLE PAR L'EAU RÉGALE. Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PO^5	CO^2	Cl	Matières organiq.	Eau combinée.	Az.
	0/0															
I	46	1,45	25,57	72,9[illegible]	5,94	6,25	0,52	1,3[illegible]	0,35	0,09	0,07	1,89	traces	2,45	3,44	0,17
II	48	1,32	13,76	81,92	1,16	5,53	17,34	0,72	0,37	0,10	0,08	14,41	»	1,97	2,40	0,06
III	»	0,43	10,05	89,52	1,88	4,64	19,85	1,53	0,31	0,08	0,08	17,27	»	0,99	2,51	»

On voit que dans la transformation du *diot* en terre végétale, il y a augmentation du sable et surtout diminution du carbonate de chaux qui est facilement dissous par l'acide carbonique de la terre végétale. La diminution des carbonates de chaux et de magnésie est du reste générale dans les sols calcaires (1).

(1) *Revue de géologie*, XII, 197.

Altération des combustibles par l'air.

L'altération que les combustibles éprouvent, lorsqu'ils sont exposés à l'air, dépend essentiellement de leurs caractères minéralogiques ainsi que de leur composition; voici les résultats obtenus par M. M'Creath (1) pour des houilles bitumineuses de la Pennsylvanie :

A Houille bitumineuse, fraîche, de la houillère Franklin.
A′ Id. après six mois.
B Houille bitumineuse, fraîche.
B′ Id. après six mois.
C Houille à gaz, fraîche.
C′ Id. après trois mois.

	Eau.	Matières volatiles.	Carbone fixe.	Soufre.	Cendres.	Somme.	Coke.
A	1,94	22,72	71.02	0,55	3,78	100,01	75,34
A′	1,06	22,70	72,08	0,52	3,65	100,01	76,24
B	1,94	22.72	71,56	»	3,78	100,00	75,34
B′	1,06	22,70	72,59	»	3,65	100,00	76 24
C	1,03	38,23	52,56	1,71	6,47	100,00	60,74
C′	0,81	38,52	52,35	1,69	6,63	100,00	60,67

On voit que les houilles de Pennsylvanie, qui ont été expérimentées, n'ont éprouvé que peu de changements dans leur composition chimique, même après une exposition à l'air de plusieurs mois. Il est possible que ce résultat tienne à ce que ces houilles n'ont qu'une faible quantité d'eau; on conçoit, en effet, qu'un combustible, contenant beaucoup d'eau et ayant une structure spongieuse, absorbera plus d'oxygène en convertissant son hydrogène carboné en eau et en acide carbonique (2).

Gaz contenus dans les combustibles frais ou exposés à l'air.

Des recherches comparatives ont été faites par M. Meyer (3) sur la composition des gaz qui sont contenus dans les houilles de Bochum, suivant qu'elles sont à l'état frais (I) ou bien extraites de la mine depuis une année (II) :

NOM de la houille exploitée.		CO^2	O	Az	C^2H^4	100 grammes de houille contiennent de gaz : centim. cubes.
Dickebank........	I	2,18	2,12	70,51	25,19	43,3
	II	15,84	3,06	74,53	6,57	41,2
Sonnenschein.....	I	4,87	2,66	75,82	16,65	50,6
	II	11,12	2,86	78,60	7,40	43,2
Leonhard........	I	3,72	0,39	90,19	5,70	42,0
	II	8,49	3,57	87,94	traces	36,4

(1) *Second geological Survey of Pennsylvania*, 1874–1875. *Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg.*

(2) *Revue de géologie*, XI, 202.

(3) *Jahresbericht der Chemie für* 1872, 1045. — *Revue de géologie*, XI, 25.

D'un autre côté, M. Zitowitsch a également déterminé la composition chimique du gaz renfermé dans un lignite terreux de Bohême et il a obtenu :

CO^2	O	Az	CO
83,99	0,65	14,91	1,04

En outre M. Meyer a trouvé dans le gaz de houilles, provenant de Zwickau, qui étaient restées pendant plusieurs années à l'air, une proportion de C^4H^6 qui s'élevait à 18 et même à plus de 23 p. 100.

Altération du feldspath et des roches feldspathiques par l'eau pure ou contenant divers réactifs.

De nouvelles recherches ont été faites sur l'action que l'eau, pure ou contenant divers réactifs, exerce sur les roches feldspathiques.

Opérant sur une série de roches de l'Auvergne, M. Truchot (1) en a pris 10 grammes qui, préalablement réduits en poudre, ont été mis pendant plusieurs jours dans de l'eau, chargée d'acide carbonique, sous la pression de 8 atmosphères ; il a déterminé ensuite les substances dissoutes dans un litre d'eau en dosant spécialement la chaux, la potasse, l'acide phosphorique, substances qu'il est le plus utile de connaître au point de vue agricole :

ROCHES.	SUBSTANCES dissoutes.	CaO	KO	PO^5
	gr.	gr.	gr.	gr.
Granite de Montaigut.	0,080	»	0,010	»
— de Trézioux.	0,090	»	0,009	»
Lave de Gravenoire.	0,160	0,040	0,006	0,001
— de Volvic.	0,175	0 025	0,006	traces
Domite du Puy-de-Dôme.	0,182	traces	0,006	traces
Scorie basaltique.	0,205	0,045	0,008	0,001
Pouzzolane de Gravenoire.	0,210	0,055	0,005	0,001
Trachyte du mont Dore.	0,290	traces	0,018	traces

D'après ces résultats, on voit que l'eau, chargée d'acide carbonique, attaque beaucoup plus fortement le trachyte que le granite ; comme elle dissout surtout de la silice, cela peut expliquer la fréquence de l'opale et des dépôts siliceux dans les fentes qui traversent le trachyte.

— M. Cossa a étudié, de son côté, l'altération que subit dans l'eau la syénite de Bielle. Cette roche étant finement pulvéri-

(1) *Observations sur la composition des terres arables de l'Auvergne.*

sée, l'eau distillée en dissout 0,18 p. 100, à la température ordinaire, et 0,42 à 100°; l'eau saturée d'acide carbonique en dissout jusqu'à 0,63 à la température ordinaire. Enfin, avec l'eau saturée par du sulfate de chaux, la proportion dissoute s'élève à 0,43 : pour du granite de Baveno, M. Cossa n'a d'ailleurs trouvé que 0,29 dans les mêmes conditions (1).

— Enfin, M. A. Beyer (2) a entrepris avec MM. Birner, Ulbricht et Heinrich une série de recherches sur la décomposition du feldspath orthose : 1 kilogramme de feldspath, finement pulvérisé, était mis chaque fois dans 2 litres 1/2 d'eau, tantôt pure, tantôt additionnée de divers réactifs. Les expériences ont duré environ 5 mois et avaient lieu à l'abri du contact de l'air, spécialement quand le feldspath était traité par de la chaux vive ou par de la magnésie, car ces bases se seraient carbonatées. On déterminait ensuite le poids en grammes des substances qui avaient été dissoutes dans les 2 litres 1/2 d'eau :

RÉACTIFS EMPLOYÉS.	ÉQUIVALENT.	KO	NaO	CaO	MgO	Fe^2O^3, Al^2O^3	SiO^2
Eau distillée.	»	0,051	0,078	0,058	0,006	»	0,049
Eau et acide carbonique.	»	0,071	0,114	0,076	0,004	0,009	0,069
Chaux.	0,1	0,209	0,174	0,067	0,003	0,008	0,061
Magnésie.	1,0	0,359	0,315	0,013	0,004	»	0,159
Magnésie et ac. carbonique.	1,0	0,312	0,255	trace	7,569	»	0,048
Gypse.	0,2	0,053	0,074	1,906	0,016	»	0,033
Sulfate d'ammoniaque.	0,2	0,161	0,094	0,122	0,035	»	0,066
Chlorure de sodium.	0,2	0,163	»	0,091	0,008	0,004	0,032

Ces recherches de M. A. Beyer sont intéressantes à plus d'un titre ; elles montrent d'abord que, si le feldspath est décomposé même par l'eau pure, il l'est encore plus facilement par l'eau chargée d'acide carbonique; il l'est surtout par l'eau contenant du sulfate d'ammoniaque ou du sel marin, substances que l'on sait se trouver dans les terres végétales et aussi dans les eaux s'infiltrant dans le sol.

La chaux et la magnésie caustiques mettent en liberté les alcalis du feldspath. Quant au gypse, il paraît dégager plus spécialement la chaux et la magnésie. On peut donc, d'après les recherches de M. Beyer, se rendre compte des effets de décomposition que le chaulage et le plâtrage produisent sur les terres végétales, particulièrement lorsqu'elles sont formées aux dépens de roches feldspathiques.

(1) *Revue de géologie*, XII, 11.
(2) *Arch. Pharm.* [2], CL, 193.

L'action énergique de la magnésie sur le feldspath explique aussi le rôle important que joue cette base dans la décomposition des minéraux et spécialement dans les phénomènes de pseudomorphisme (1).

Efflorescences de sulfates de soude et de magnésie.

Des efflorescences de sulfates s'observent assez fréquemment en Algérie; ainsi, M. L. Ville a analysé un sulfate de soude des marnes vertes de l'Oued Malah, et M. Renou un sulfate de magnésie du lit desséché de la Mina (2).

Métamorphisme de contact ou spécial.

Fulgurite.

Dans l'été de 1872, la foudre tombant à Elspeet, dans la Veluwe, sur un champ de blé, le couchait par terre, sur une circonférence de 30 mètres, vers le centre de laquelle on apercevait 2 trous de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre, dans la continuation desquels se trouvaient des fulgurites traversant le sable diluvien sur plus de $1^m,5$ et se ramifiant dans la profondeur. D'après M. P. Harting (3), ces fulgurites présentaient des tubes vitrifiés, ayant une forme scoriacée, rugueuse, très-irrégulière. A l'extérieur de ces tubes, il y avait des grains de sable et des parties charbonneuses, provenant sans doute du terreau de la terre végétale. A l'intérieur, la substance vitrifiée est blanche, mais devient souvent noir brunâtre, ce qui doit être attribué à du goudron, résultant de l'action exercée sur le terreau par la chaleur de la foudre. Au microscope, M. Harting a constaté que la surface émaillée de l'intérieur des tubes est saupoudrée de points blancs, anguleux, qui sont des éclats de la masse vitrifiée. De plus elle présente une multitude de vacuoles, dont le diamètre est généralement compris entre 0,01 et 0,5 millimètres, qui ont été produites par la vapeur d'eau; dans certains endroits cette dernière a même formé comme des cratères d'explosions microscopiques, qui, en crevant, ont projeté les petits éclats blancs qu'on trouve incrustés dans la surface émaillée.

A l'aide du microscope, muni de 2 nicols, M. Harting a constaté que la silice du fulgurite d'Elspeet jouit du pouvoir polari-

(1) Voir *Revue de géologie*, XI, 203, 204.
(2) A. Papier: *Catalogue minéralogique algérien*.
(3) *Notice sur un cas de formation de fulgurites dans le sol de la Néerlande*. Amsterdam, 1874.

sant; on peut se demander toutefois si cela tient à sa cristallisation ou bien à une pression qui aurait été exercée sur le verre par la vapeur d'eau contenue dans les vacuoles? De plus, faisant bouillir le fulgurite avec une dissolution très-concentrée de potasse, M. Harting a trouvé que la proportion de silice dissoute était la même que pour le sable encaissant. Il semblerait donc que dans un fulgurite, la silice n'est pas à l'état amorphe, d'une densité de 2,2, et qu'elle n'est pas complétement soluble dans la potasse, comme celle qui a été obtenue par M. Charles Sainte-Claire-Deville en fondant du quartz.

L'analyse du fulgurite d'Elspeet a été faite par M. van der Star dans le laboratoire de M. J. van Kerckhoff:

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Matière insoluble dans ClH.	Matière charbonneuse et perte.	Somme.
90,2	0,9	0,7	0,1	0.5	0,5	0,6	0,9	5,6	100

Bien que le sable contienne habituellement de petites quantités d'alcalis, on peut penser que ces alcalis et les autres bases qui les accompagnent, proviennent du terreau et ont été entraînés par la foudre avec les matières charbonneuses. Comme ces bases sont à la proportion de quelques centièmes, on conçoit d'ailleurs qu'elles aient facilité la fusion du quartz et par suite la formation même du fulgurite.

— Résumant les principaux faits connus, particulièrement ceux qui résultent des études de Fiedler, M. Harting observe que les fulgurites forment des tubes dont le diamètre varie ordinairement de 2 à 25 millimètres; accidentellement il peut atteindre 40 millimètres. Le tube principal reste à peu près le même jusqu'aux rameaux latéraux qui se terminent en pointes effilées. La couleur des tubes varie avec le sable dans lequel ils se trouvent; elle est ordinairement noirâtre vers la partie supérieure, près de la terre végétale. Comme Watt l'avait déjà indiqué, les fulgurites doivent leur forme tubulaire à la vapeur d'eau dont l'abondance ou les variations dans la force expansive doivent produire les inégalités de diamètre; mais le diamètre de la foudre elle-même n'est qu'une petite fraction du tube qu'elle engendre par le dégagement de vapeur résultant de la volatilisation de l'eau qui imprègne le sol foudroyé. On a trouvé des fulgurites qui descendent jusqu'à plus de 11 mètres de profondeur.

En outre les fulgurites ne s'observent pas spécialement au sommet des collines de sables, mais plutôt dans les petites vallées qui les séparent. Fiedler a pensé que cela doit être attribué à l'eau

qui imbibe le sol des vallées et qui est nécessaire à la formation du tube.

Sur les sommets des montagnes, notamment dans les Pyrénées et dans les Alpes, on sait du reste que les roches sont souvent vitrifiées à leur surface par des coups de foudre (1).

Chaux phosphatée dissoute au contact de filons de trapp.

PAYS DE GALLES. — D'après MM. H. Hicks et Hudleston (1), les roches cambriennes du Pays de Galles sont quelquefois très riches en chaux phosphatée, puisque certaines couches n'en contiennent pas moins de 10 pour 100. Il est possible que cette particularité doive en partie être attribuée à l'accumulation des têts de trilobites; car les auteurs ont trouvé plus de 3 p. 100 de phosphate de chaux dans le têt d'un crustacé, tel que le homard.

D'un autre côté, MM. Hicks et Hudleston ont *reconnu que* la chaux phosphatée a souvent disparu près du contact des couches cambriennes avec les dykes de trapp qui les ont traversés.

Ce résultat peut être rapproché de celui obtenu par M. Delesse (2) qui a constaté, dans des recherches sur le métamorphisme de contact, que la chaux carbonatée, contenue dans des couches de grès ou dans des calcaires, pouvait être dissoute au voisinage immédiat des roches trappéennes qui les traversent. Cette dissolution de la chaux carbonatée et phosphatée doit sans doute être attribuée à des eaux, le plus souvent chaudes et chargées d'acide carbonique, qui ont accompagné l'éruption des trapps et qui se sont infiltrées dans les roches encaissantes, pénétrant *surtout dans* celles qui étaient facilement perméables.

Baryte sulfatée et dépôt ocreux formés par des eaux minérales.

BUSSANG. — Lors du captage de la source gazeuse alcaline et ferrugineuse, dite Source Marie, à Bussang (Vosges), on a constaté que les parois du griffon principal étaient tapissées d'une croûte de 1 centimètre d'épaisseur moyenne, composée de cristaux de sulfate de baryte atteignant jusqu'à 3 centimètres de longueur dans les interstices desquels se trouvait une sorte d'ocre jaune rougeâtre. Ces croûtes sont sans doute des dépôts provenant de l'eau minérale. Leur analyse présentait donc un certain intérêt ainsi que celle des cristaux eux-mêmes; ces analyses, effectuées

(1) *Revue de géologie*, X, 197

(2) *Études sur le métamorphisme des roches.*

par M. Braconnier, ingénieur des mines, ont donné les résultats suivants (1) :

	SO^3,BaO	SO^3,SiO	SO^3CaO	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	AsO^5	Eau et matières organiques.	Somme.
Cristaux.	93,43	2,65	2,40	0,56	0,60	0,38	»	0,30	100,32
Croûte cristalline ocreuse.	70,10	2,09	2,42	9,50	1,89	9,54	0,72	3,36	99,62

On voit que les cristaux de baryte sulfatée formés par l'eau minérale de Bussang contiennent plusieurs centièmes de sulfates de strontiane et de chaux. L'existence d'une proportion très-notable d'arsenic dans le dépôt ocreux mérite aussi d'être remarquée.

Minerais de fer et de cuivre, strontiane sulfatée et zéolithes formés par des eaux minérales.

Bourbonne-les-Bains. — Un réservoir, dit puisard romain, ayant été mis à sec à Bourbonne-les-Bains, on y a trouvé une boue argileuse et des sables avec des milliers de médailles romaines, la plupart en bronze. D'après les observations faites par M. Daubrée (2), il s'est formé aux dépens de ces médailles de nombreux minerais métalliques qui présentent la plus grande ressemblance avec ceux des anciennes périodes géologiques. Tels sont la chalkosine (cuivre sulfuré), la chalkopyrite (cuivre pyriteux), la phillipsite (cuivre panaché), la tétraédrite (cuivre gris antimonial), en cristaux très-abondants et offrant très-nettement les tétraèdres avec les biseaux. On conçoit que sous l'influence des matières organiques contenues dans la boue du réservoir, il se soit produit des sulfures métalliques aux dépens des sulfates de l'eau minérale.

Tandis que la partie interne de certaines médailles montre encore l'éclat et la couleur du bronze, leur partie externe est changée en une matière blanche, d'apparence terreuse, qui n'est autre que de l'oxyde d'étain. Il y a donc eu, dans ces médailles, un véritable départ : le cuivre est entré dans des combinaisons sulfurées, tandis que l'étain est passé à l'état d'oxyde. Il s'est en outre formé, sur d'autres points, des cristaux de cuprite (cuivre oxydulé), de la mélaconise (cuivre oxydé noir) et de la chrysocole (hydrosilicate de cuivre).

La continuation des travaux de captage a encore conduit à la découverte d'autres espèces; celles à base de plomb sont : la ga-

(1) Lettre à M. Delesse, janvier 1876.
(2) *Comptes rendus*, LXXX, 461; LXXXI, 182 et 1008.

lène, l'anglésite, la cérusite et la phosgénite ou chloro-carbonate de plomb.

La pyrite de fer a été trouvée dans deux parties distinctes du sous-sol, d'abord dans le sable à travers lequel jaillit la source, puis dans un dallage en briques où elle était disseminée, en petits cristaux isolés, au milieu de la chaux unissant les dalles. Ailleurs le fer a été aussi trouvé à l'état de silicate hydraté et de phosphate terreux (vivianite).

En dehors des espèces minérales qui viennent d'être énumérées, M. Daubrée a reconnu, comme à Plombières, des zéolithes qui ont été engendrées, dans les bétons romains, par une réaction sur les substances que renfermaient les maçonneries. Telles sont la chabasie et la christianite (harmotôme calcaire), l'une et l'autre en cristaux maclés comme ceux de la nature et d'autres zéolithes dont l'une paraît appartenir à une espèce nouvelle.

D'après les changements que les eaux thermales ont fait subir à diverses substances inorganiques, il n'y a pas lieu de s'étonner qu'elles aient aussi agi sur les débris organiques qui s'y trouvaient plongés. Ainsi, M. Daubrée a reconnu que des pilotis ont été imprégnés et remplacés en partie par de la calcite cristalline; des cornes de bœuf ont subi le même pseudomorphisme. Enfin des bois des conifères ont encore été fortement imprégnés de peroxyde de fer qui était même accompagné de silicate hydraté de ce métal.

BOURBON-L'ARCHAMBAULT. — La source thermale de Bourbon-l'Archambault a également produit, d'après M. de Gouvenain (1), des phénomènes de métamorphisme analogues à ceux signalés par M. Daubrée à Bourbonne-les-Bains.

Cette source émerge d'une fente dans le gneiss, arrive à la température de 52° et donne 2^{gr},942 de résidu par litre. M. de Gouvenain a constaté qu'elle tient principalement en dissolution du chlorure de sodium; ce dernier sel est accompagné par des sulfates, des bicarbonates alcalins et terreux avec un peu d'alumine, d'oxyde de fer et de silice. Le fluor y est à la dose de 3 milligrammes par litre, le brome à celle de 7 milligrammes, et il y a des traces bien nettes d'iode. L'analyse spectrale indique de plus du cœsium, du rubidium, ainsi que des traces de strontiane dans les incrustations calcaires des conduites.

Dans le curage du réservoir, M. de Gouvenain a trouvé des pièces de bronze remontant à l'époque des empereurs romains,

(1) Communication de l'auteur.

qui ont subi les mêmes altérations qu'à Bourbonne ; en effet, au contact du métal, il s'est formé une couche noire de cuivre sulfuré, à laquelle succède de la phillipsite ou cuivre panaché, puis du cuivre pyriteux empâtant des grains de sable. Dans un échantillon, entre la phillipsite et le cuivre pyriteux, il s'est en outre formé de la strontiane sulfatée qui était même cristallisée et transparente.

Une barre de fer métallique s'est en partie transformée en pyrite de fer et M. Daubrée (1) a reconnu de plus qu'elle était entourée par une masse cristalline de sidérose.

Sous l'influence des sulfates et des matières organiques contenues dans les eaux minérales, il est visible que le cuivre et le fer se sont métamorphosés en sulfures.

M. de Gouvenain constate que, dans le voisinage de la fente par laquelle sort la source de Bourbon-l'Archambault, le gneiss encaissant passe à une pegmatite traversée par de nombreuses veinules d'un spath fluor violet, qui toutefois a dû venir à une époque antérieure

D'un autre côté, sur les parois mêmes de la fente, M. de Gouvenain a trouvé une brèche peu consistante, formée de grains de quartz hyalin avec de rares parcelles de cuivre ; il y a de plus quelques fragments de galène, ainsi que de la strontiane sulfatée qui devient quelquefois aussi abondante que le quartz.

Calcaire changé en gypse.

Kchiuta. — Le gîte de soufre de Kchiuta, à 15 kilomètres au nord du village Tschirgat, dans le Daghestan oriental, était exploité par Schamyl, pour la fabrication de la poudre. D'après M. Arzruni (2) qui l'a visité, le soufre y est cristallin, d'un jaune paille foncé, légèrement translucide, et de gros morceaux sont souvent complétement purs. Il forme des nids ainsi que des lentilles dont l'épaisseur dépasse 4 mètres, en plusieurs endroits. Autour du soufre, on rencontre du gypse cristallisé, puis du calcaire; ce dernier est intercalé dans des marnes qui plongent de 18° vers le N.-O. Dans le gypse on a trouvé un fossile qui est changé lui-même en gypse et qui a été rapporté au Cerithium plicatum par M. le docteur Sievers.

D'après M. H. Abich (3), auquel on doit une étude géologique du Daghestan, le soufre de Kchiuta est d'origine neptunienne et

---

(1) *Comptes rendus*, LXXX, 1300.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1875, 49.
(3) *Mémoires de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg*, 1862, IV.

provient sans doute de dépôts qui ont été formés par des eaux contenant du gaz sulfhydrique : quant au gypse, il paraît provenir de la décomposition du calcaire; il résulterait donc d'un métamorphisme, comme le gypse de Saltville, étudié par M. Lesley (1). Cette théorie est d'autant plus vraisemblable qu'il existe encore un grand nombre de sources sulfureuses dans le Caucase, notamment sur le flanc sud, à Tiflis, dans la vallée Ilissu, etc.

Toutefois comme l'observe M. Abich, il y a aussi du soufre d'origine volcanique dans le Caucase, et c'est spécialement le cas pour celui de l'Elbrous.

Combustibles changés en coke par le trapp.

COLORADO. — Les combustibles du Colorado, étudiés par M. Chaper, fournissent des exemples remarquables de métamorphisme au contact de roches trappéennes. Des essais ayant pour but de déterminer les changements subis par ces combustibles ont été faits sous la direction de M. Moissenet, au Bureau d'essais de l'École des mines. A Walsemberg, le combustible normal A est métamorphosé en un coke friable A', sur toute son épaisseur qui est environ de 1m,3; ce métamorphisme a été produit par un trapp très-compacte, rempli d'amygdaloïdes calcaires, qui a une puissance de 6 mètres. Près de Trinidad, dans un vallon de la rive gauche du Purgatoire, le combustible B est de même complètement métamorphosé en un coke B' qui est dur et présente une structure prismatique bien caractérisée.

	A	A'	B	B'
Matières volatiles. .	34,80	16,00	33,60	3,40
Carbone fixe.	61,20	71,00	62,90	68,60
Cendres.	4,00	13,00	3,50	28,00
Somme.	100,00	100,00	100,00	100,00

Comparant la conductibilité de ces combustibles pour l'électricité, en les maintenant à l'aide d'une pince de zinc dans une dissolution du sulfate de cuivre, M. Moissenet a constaté que A ne reçoit pas de dépôt de cuivre, tandis que A' en donne un très faible au bout d'un quart d'heure et que sur B' le dépôt de cuivre est immédiat et très-abondant; ainsi, le coke naturel, qui accuse le métamorphisme le plus énergique, possède la conductibilité

(1) *Revue de géologie*, XII, 202.

électrique la plus grande; cette dernière est même supérieure à celle du coke artificiel.

L'analyse des cendres du coke B' a montré d'ailleurs qu'elles étaient formées de 15 p. 100 de carbonate de chaux, 10 p. 100 d'argile et 3 p. 100 de quartz.

Ces résultats viennent confirmer ceux obtenus précédemment par M. Delesse (1); ils montrent que le combustible au contact des filons de trapp du Colorado a quelquefois subi l'action de la chaleur qui l'a changé en coke; mais il n'a pas toujours perdu complétement ses matières volatiles; de plus, bien que les échantillons comparés AA' et BB' n'appartiennent pas à la même couche, l'augmentation des cendres, qui est très-notable près du contact, fait bien voir que le combustible a été fortement imprégné de matières minérales. A la mine des environs de Trinidad, en particulier, l'éruption du trapp devait être accompagnée d'eaux siliceuses, puisque M. Chaper a observé des cristaux de quartz qui tapissent les fissures de la roche encaissante.

Nodules de silicates et dépôts salins formés dans les laves.

SANTORIN. — En analysant des nodules empâtées dans les laves provenant de la dernière éruption de Santorin, M. Fouqué (2) a reconnu qu'ils sont formés de Wollastonite avec du pyroxène Fassaïte et du grenat mélanite. Conformément à ce qui a été observé sur le métamorphisme du calcaire au contact des roches volcaniques ou plutoniques, il est permis de croire que la Wollastonite et ces silicates contenant de la chaux proviennent de fragments calcaires qui ont été enveloppés par la lave.

M. Fouqué a encore analysé plusieurs dépôts salins qui, lors de l'éruption de mai 1866, s'étaient formés dans des fentes et sur la lave de Santorin. Ces dépôts ont ordinairement une blancheur éclatante; l'eau leur enlève surtout du sel marin et une petite proportion de sulfate de soude. Le plus souvent M. Fouqué a trouvé dans la dissolution un peu de bicarbonate de magnésie et, dans certains cas, du chlorure de magnésium. Quant au résidu insoluble dans l'eau, il consiste en carbonate de magnésie dont la proportion a dépassé 21 p. 100 dans un échantillon; parfois il y a aussi un sulfate basique d'alumine, ainsi que des traces d'hydroxyde de fer et de sulfate de chaux.

Ces dépôts salins sont attribués par M. Fouqué à une infiltration

---

(1) *Annales des mines : Études sur le métamorphisme des roches.*
(2) *Comptes rendus*, LXXX.

de l'eau de la mer qui s'est trouvée en contact avec la lave incandescente ; les sels en dissolution ont été volatilisés ou bien encore entraînés par des vapeurs contenant soit de l'acide chlorhydrique, soit de l'acide carbonique, qui ont pu contribuer à leur faire subir ensuite des modifications.

M. Charles Sainte-Claire-Deville (1), d'un autre côté, préfère ne pas faire intervenir l'infiltration de l'eau de la mer; par cela même que ces dépôts salins se sont formés dans la phase primitive de l'éruption, il les regarde comme les produits directs des fumerolles et des émanations volcaniques.

Métamorphisme normal ou général.

Empreinte végétale dans la protogine.

Des débris fossiles, encore reconnaissables et appartenant à des animaux ou à des végétaux, ont souvent été signalés dans des roches métamorphiques, qui ont pris une structure cristalline, même lorsqu'il s'y est développé des cristaux de feldspath. Mais il est beaucoup plus extraordinaire d'en trouver jusque dans des roches feldspathiques orthosées et à structure granitoïde; c'est cependant ce qui a été bien constaté par M. de Sismonda. On doit en effet, à ce savant, la découverte, dans un bloc erratique de protogine, d'une empreinte fossile que M. Schimper a rapporté à l'Annularia sphenophylloïdes du terrain houiller (2).

Minéraux nouveaux associés au corindon dans les roches métamorphiques.

Dans une étude sur le corindon, M. F. A. Genth (3) fait connaître un assez grand nombre de minéraux qui lui sont associés, et parmi lesquels plusieurs ont reçu des noms nouveaux; comme ils se sont formés dans des roches métamorphiques, nous allons donner ici leurs principales propriétés, particulièrement leur densité et leur composition chimique :

---

(1) *Comptes rendus*, LXXX, 834.
(2) *Revue scientifique*, 1876. — Voir aussi *Revue de géologie*, IV, 115.
(3) *Corundum, its alterations and associated minerals; Contributions from the Laboratory of the University of Pennsylvania*, n° 1; 36, 37, 38. — *Journal für praktische Chemie*, von Kolbe, IX, 49.

	A		B		C		D		E		F	
ENSITÉ.	2.308		2,827		»		2,810		2.851		»	
		oxygène.		oxygène.		oxygène		oxygène.		oxygène.		oxygène.
O^2.	38,29	20,42	34 22	18,25	29,23	15,59	29,90	15,95	28,84	15,38	32,42	17,29
O^3.	11,41	5,32	21,53	10,03	37,52	17.48	27,59	12,86	39,65	18,48	28,42	13,24
O^3.	1,95	0,59	12,41	3,72	1,33	0,40	3,12	0,94	2,12	0,64	4,99	1,50
O.	0,32	0,07	0,32	0,07	2,41	0,54	9,17	2,94	»	»	1,72	0,38
,Co)O. . .	0,25	0,05	0,12	0,03	»	»	»	»	»	»	»	»
O.	26,40	10,46	14,46	5,78	17,28	6,91	17,10	6,84	1,26	0,50	16,87	6,75
O.	»	»	»	»	»	»	»	»	14,75	4,21	»	»
O.	»	»	traces	»	traces	»	traces	»	»	»	0,19	0,10
O.	»	»	0,51	0,13	6,48	1,67	0.58	0,15	0,48	0,12	1,52	0,39
. . . .	»	»	5,70	0,97	2,44	0,41	2,33	0,40	1,60	0,27	0,56	0,09
. . . .	21,25	18,89	11,85	10,53	3.66	3,20	11,51	10,23	10,41	9,25	13,43	11,94
Somme. . .	99,87		101,12		100,35		101,30		99,11*		100,12	

* Résidu de quartz 2,17

La *Kerrite*, dédiée au professeur M. C. Kerr, se rencontre à la mine Culsagee près Franklin, dans la Caroline du Nord ; elle présente une multitude de petites écailles, très-tendres, ayant un éclat perlé et une couleur jaune verdâtre, tirant sur le brun. Elle fond en émail blanc et se décompose complétement par l'acide chlorhydrique. Son analyse (A) faite par M. Th. Chatard a donné la formule :



$$2(3RO,2SiO^2) + (R^2O^3,SiO^3) + 10HO.$$

Un sixième de RO consiste en alcalis.

La *Maconite* tire son nom du comté Macon, dans la Caroline du Nord. Elle est aussi en petites écailles et ressemble à la *Jeffersite* du professeur Brush. Sa couleur est le brun foncé, avec éclat perlé, presque métallique. Au chalumeau elle se gonfle beaucoup et fond en un verre brun. L'acide chlorhydrique la décompose encore complétement. D'après la moyenne de deux analyses (B) de M. Th. Chatard, elle se laisse représenter par



$$3RO,2SiO^2 + 2(R^2O^3,SiO^2) + 5HO.$$

La *Willcoxite* paraîtrait également être un minéral nouveau qui consiste en écailles blanc verdâtre ou blanc grisâtre, ressemblant beaucoup à du talc. L'acide chlorhydrique le décompose avec difficulté. Son analyse (C) faite par M. le docteur Geo. A. Koenig conduit à la formule :



$$3(2RO,SiO^2) + 2(2R^2O^3,SiO^2) + 2HO.$$

Un cinquième de RO consiste en alcalis et il y a même des traces de lithine.

La *Pattersonite* est associée à la *Lesleyte* d'Unionville; son analyse (D) faite par M. Genth sur un échantillon-type, envoyé par M. J. Lea, a donné des rapports d'oxygène voisins de ceux de la Thuringite et la formule :



$$2(3RO,SiO^2) + 3(R^2O^3,SiO^2) + 6HO.$$

Un *minéral terreux de Gainesville*, en Géorgie, est associé à la margarite. Il est tendre, à grain fin d'une couleur isabelle ou rouge de chair. Son analyse (E) conduit à la formule :



$$2(2RO,SiO^2) + (5R^2O^3,4SiO^2) + 7HO.$$

La *Dudleyite*, qui se trouve à la mine de Cullakenee, est un minéral, ayant la couleur du bronze et fondant difficilement en une masse brunâtre; son analyse (F) a fourni la formule :



$$2(3RO, 2SiO^2) + (4R^2O^3,3SiO^2) + 10HO.$$

Ces minéraux sont généralement très-riches en alumine, comme il était naturel de le penser d'après la composition de ceux auxquels ils sont associés; toutefois, contrairement à l'opinion qui les fait dériver d'altérations, nous sommes porté à croire qu'ils ont pour la plupart cristallisés en même temps que le corindon et la roche qui les contient et qu'ils se sont formés par métamorphisme (1).

Comment concevoir, en effet, qu'un minéral, aussi inaltérable que le corindon, ait pu se décomposer en d'autres minéraux anhydres, qui ne sont pas moins inaltérables que lui, comme le spinelle, la fibrolite, le disthène? Comment concevoir aussi qu'il se soit métamorphosé, tantôt en chlorite et en pyrophyllite, tantôt en damourite, en divers micas, en feldspaths et même en tourmaline ou en lazulite, ainsi que l'admet la théorie proposée?

Métamorphisme des filons métallifères par des croiseurs.

CORNOUAILLES. — M. Tregay (2) a étudié l'influence que les croiseurs exercent sur la richesse des filons du Cornouailles, en considérant comme croiseurs de petits filons locaux dont la longueur excède peu la puissance du filon principal. Il paraît que, quand ces croiseurs sont remplis par de la chaux carbonatée, le filon métallifère qu'ils traversent se trouve en général enrichi sur leur passage. Le contraire a lieu quand les croiseurs sont creux ou remplis par du quartz.

---

(1) *Revue de géologie*, XII, 204; XI, 211.
(2) *Rep, miner's Assoc. Cornwall and Devon*, 1872-1873, 57.

Relation entre les phénomènes éruptifs et métamorphiques.

ROYAUME-UNI. — M. Archibald Geikie (1) a cherché à résumer dans un tableau la relation, de cause à effet, qui lui paraît exister entre les phénomènes volcaniques ou plutôt éruptifs du Royaume-Uni et entre les roches métamorphiques :

PÉRIODES GÉOLOGIQUES.		MÉTAMORPHISME PRODUIT.	CAUSES DU MÉTAMORPHISME.
Tertiaire.	Miocène.	Plusieurs roches altérées à Skye, Arran, etc.	Nombreuses éruptions volcaniques dans le nord-ouest.
Paléozoïque.	Postérieure au carbonifère.	Région granitique du Cornouailles, etc.	? Phénomènes éruptifs à Tor et dans le Devonshire. Volcans permiens de l'Ayrshire, etc.
	Postérieure au Caradoc.	Métamorphisme de la partie élevée de l'Ecosse.	Volcans carbonifères de l'Ecosse centrale. Grande activité volcanique pendant la formation du vieux grès rouge.
	Llandeilo.	Métamorphisme à Anglesea, etc.	Volcans appartenant au silurien inférieur du Pays de Galles, du Cumberland, etc.
	Antérieure au cambrien.	Gneiss laurentien des Hébrides, etc.	?

Remarquons du reste que le métamorphisme produit dans le Royaume-Uni, pendant les différentes périodes géologiques, doit beaucoup plus être attribué au développement de la structure cristalline et à l'ensemble des phénomènes éruptifs qu'à des phénomènes volcaniques proprement dits; car les traces de l'action de la chaleur y sont locales et exceptionnelles.

Résumé sur le métamorphisme.

Nous terminerons ce qui concerne le métamorphisme par un résumé des idées que M. l'abbé Stoppani (2) a formulées sur cette question dans le cours de géologie qu'il vient de publier.

M. l'abbé Stoppani donne au mot *métamorphisme* la plus grande extension dont il est susceptible, et comprend sous cette dénomination les modifications de toutes natures que peuvent éprouver les roches, après leur première formation. Il examine, en conséquence, les altérations des roches superficielles par les agents atmosphériques, et il cite, notamment, la transformation des roches feldspathiques en kaolin.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, 211.
(2) *Corso di geologia*. Milan. (Extrait par M. J. de Cossigny.)

Il passe ensuite aux actions mécaniques exercées sur les roches par la pression due aux poids des couches supérieures et par les oscillations, les plissements, les soulèvements et, en un mot, toutes les dislocations de l'écorce terrestre.

Relativement au métamorphisme proprement dit, c'est-à-dire à celui qui met plus spécialement en jeu les forces chimiques, le professeur Stoppani distingue : — 1° Le *métamorphisme de contact* résultant du contact immédiat des roches éruptives, avec les roches encaissantes ; il montre, en s'appuyant surtout sur les travaux de M. Delesse, que ce genre de métamorphisme est essentiellement localisé et qu'il ne s'étend guère à plus de quelques mètres, souvent à quelques centimètres seulement des surfaces de contact, lors même que les roches éruptives étaient à une haute température au moment de leur apparition ; — 2° Le *métamorphisme périmétrique*, dont les effets se font sentir notablement plus loin que ceux du précédent, et qui est dû à divers phénomènes accessoires ou consécutifs de l'apparition des roches éruptives, tels que les émissions de vapeurs ou la production de sources thermales; — 3° Le *métamorphisme d'infiltration* qui comprend les phénomènes résultant de l'infiltration des eaux superficielles, généralement chargées au début d'oxygène et d'acide carbonique, lesquelles circulent à travers les pores des roches. Dans ce mouvement de descente de l'eau, les conditions de pression et de température varient d'un point à un autre, ainsi que la composition des roches traversées et celles des substances contenues dans l'eau ; il en résulte que, tantôt celle-ci enlève aux roches certains éléments (métamorphisme *négatif*), tantôt leur cède de nouveaux minéraux (métamorphisme *positif*) ; — 4° Le *métamorphisme régional* qui ne diffère pas, en principe, du précédent; pour le concevoir il suffit de considérer le phénomène sur de plus vastes étendues, de le suivre jusqu'à des profondeurs considérables et de se rappeler que, conformément aux expériences de M. Daubrée, l'action de l'eau sur les matières minérales devient très-énergique à des températures élevées, maintenues à l'aide de pressions convenables, qu'enfin, dans ces conditions, tous les minéraux ont une tendance extrêmement prononcée à prendre l'état cristallin.

L'auteur, passant en revue les principaux effets du métamorphisme d'infiltration, explique la formation des roches cariées, la destruction ou les diverses altérations des fossiles, les cas variés de pseudomorphisme, les pétrifications siliceuses, la production au sein des roches des minéraux étrangers à leur propre origine,

l'agrégation des couches arénacées, la transformation des roches bulleuses en amygdaloïdes, la génération des rognons d'agate qui serait un cas particulier du précédent, etc.

Dans le métamorphisme régional, aux effets énumérés ci-dessus, se joignent, sur une grande échelle, ceux qui sont produits par l'eau portée à une haute température, et qui consistent principalement en modifications dans l'état moléculaire et cristallin des roches, sans qu'il y ait nécessairement transport de matière d'une couche à une autre; parmi les plus remarquables phénomènes de cet ordre, apparaissent la transformation des argilites ou argiles contenant des alcalis, en schistes plus ou moins cristallins, et celle des calcaires ordinaires en calcaire saccharoïde. S'inspirant surtout des idées de l'école allemande, le professeur Stoppani considère de préférence l'action de l'eau pénétrant dans le sol de haut en bas, et il s'applique à démontrer que les éléments des divers minéraux qui se rencontrent dans les roches après le métamorphisme préexistaient dans le terrain soumis à son action ; il ne fait aucune allusion aux idées générales émises par quelques géologues relativement au rôle important que les matières minérales rejetées de l'intérieur du globe ont joué dans la formation des couches sédimentaires.

Les dolomies, d'après le professeur Stoppani, seraient des calcaires magnésiens, plus ou moins altérés, qui auraient perdu, par voie de métamorphisme d'infiltration, une partie de leur carbonate de chaux. Dans le plus grand nombre des cas cependant, il est manifeste que la dolomie résulte au contraire d'apports souterrains de carbonate de magnésie.

Conformément aux idées les plus généralement adoptées en France sur le métamorphisme régional ou normal, les lignites, la houille, l'anthracite, le graphite, sont considérés comme les divers termes d'une même série. Les quartzites sont attribués à des grès ou à des sables siliceux. Les schistes argileux, les phyllades, les schistes micacés, chloriteux, amphiboliques et talqueux seraient des transformations diverses de couches argileuses; M. l'abbé Stoppani s'applique à démontrer que ces dernières transformations se produisent à la suite de réactions chimiques intérieures et à l'aide de prélèvements ou d'apports, presque insignifiants en fait de matériaux, pouvant être empruntés ou rendus aux couches les plus voisines.

Quant au gneiss et au granite, M. l'abbé Stoppani les regarde comme éruptifs et même comme ayant une origine ignée, puisqu'à ses yeux ils représentent la lave la plus ancienne; le gneiss, en

particulier, serait un granite modifié ayant acquis la texture schisteuse par l'effet d'un étirage produit pendant qu'il était encore à l'état pâteux; quelques observations stratigraphiques sont citées à l'appui de l'origine éruptive du gneiss.

Il faut reconnaître cependant que si, dans certains cas, le gneiss joue le rôle d'une roche éruptive, ce qui est facile à comprendre puisqu'il a été doué d'une certaine plasticité, le plus souvent il forme simplement la base des terrains stratifiés; de même que le granite, il ne présente d'ailleurs aucun des caractères *qui révèlent* une origine ignée (1).

En résumé : des roches sédimentaires nouvelles se superposent indéfiniment aux précédentes qui, du moins, dans certaines portions de la surface du globe, s'affaissant sous le poids additionnel dont elles se trouvent chargées, sont successivement abaissées jusqu'à de grandes profondeurs et parviennent enfin, après une série non interrompue de modifications, jusqu'au niveau où la chaleur et la pression sont telles que les minéraux qui constituaient ces couches, totalement décomposés à la faveur de l'eau, ne forment plus avec elle qu'un magma fluide parsemé de cristaux; c'est ce magma qui, d'après M. Stoppani, constitue les laves qui seront, bientôt après, rejetées à la surface par quelque orifice volcanique, sous la forme de nouvelles roches cristallisées; ces roches sont destinées elles-mêmes à être un jour désagrégées, à faire partie de nouveaux sédiments et à rentrer ainsi dans un *cycle géologique* semblable au précédent.

C'est ainsi que, du métamorphisme, le professeur Stoppani est amené à la conception de ce qu'il appelle *la circulation indéfinie des roches*, conception, on le voit, qui a plus d'un point commun avec les idées de M. Poulett Scrope sur l'origine des laves, et qui rentre d'ailleurs complétement, ainsi que l'auteur le reconnaît lui-même, dans les idées géogéniques émises par Hutton il y a bientôt un siècle.

(1) Delesse : *Études sur le métamorphisme des roches*, in-4°. — *Origine des roches*, 1858.

BULLETIN.

DÉCLINAISON DE L'AIGUILLE AIMANTÉE (*) LE 15 JUIN 1875

I. — Chefs-lieux de départements.

VILLES.	DÉCLINAISON.		VARIATION annuelle.	VILLES.	DÉCLINAISON.		VARIATION annuelle.
	degrés.	min.	minutes.		degrés.	min.	minutes.
Agen.	17	8	— 7,1	Lille.	17	22	— 7,7
Albi.	16	29	— 7,0	Limoges.	17	13	— 7,2
Alençon.	18	15	— 7,5	Lons-le-Saulnier.	15	33	— 6,9
Amiens.	17	34	— 7,7	Lyon.	15	37	— 6,8
Angers.	18	22	— 7,4	Mâcon.	15	48	— 6,9
Angoulême.	17	37	— 7,2	Marseille.	15	3	— 6,5
Annecy.	15	10	— 6,7	Melun.	17	7	— 7,5
Arras.	17	26	— 7,7	Mende.	16	2	— 6,9
Auch.	17	3	— 7,0	Mézières.	16	29	— 7,5
Aurillac.	16	33	— 7,0	Montauban.	16	48	— 7,0
Auxerre.	16	37	— 7,3	Mont-de-Marsan.	17	32	— 7,1
Avignon.	15	22	— 6,6	Montpellier.	15	45	— 6,8
Bar-le-Duc.	16	5	— 7,4	Moulins.	16	27	— 7,1
Beauvais.	17	33	— 7,6	Nancy.	15	40	— 7,2
Belfort.	15	0	— 6,9	Nantes.	18	42	— 7,4
Besançon.	15	22	— 6,8	Nevers.	16	37	— 7,2
Blois.	17	31	— 7,4	Nice.	14	20	— 6,0
Bordeaux.	17	47	— 7,2	Nîmes.	15	34	— 6,7
Bourg.	15	37	— 6,9	Niort.	18	2	— 7,3
Bourges.	16	58	— 7,2	Orléans.	17	21	— 7,4
Caen.	18	41	— 7,5	Paris.	17	21	— 7,5
Cahors.	16	50	— 7,0	Pau.	17	21	— 7,1
Carcassonne.	16	18	— 6,9	Périgueux.	17	15	— 7,2
Châlons-sur-Marne.	16	27	— 7,5	Perpignan.	15	59	— 6,9
Chambéry.	15	18	— 6,6	Poitiers.	17	45	— 7,3
Chartres.	17	38	— 7,5	Privas.	15	38	— 6,8
Châteauroux.	17	13	— 7,3	Quimper.	20	7	— 7,5
Chaumont.	16	0	— 7,2	Rennes.	19	0	— 7,5
Clermont.	16	25	— 7,0	Roche-sur-Yon.	18	35	— 7,4
Digne.	14	50	— 6,4	Rodez.	16	23	— 6,9
Dijon.	15	48	— 7,0	Rouen.	17	59	— 7,6
Draguignan.	14	39	— 6 3	Saint-Brieuc.	19	39	— 7,5
Epinal.	15	22	— 7,0	Saint-Etienne.	15	49	— 6,8
Evreux.	17	53	— 7,5	Saint-Lô.	18	57	— 7,5
Foix.	16	33	— 7,0	Tarbes.	17	6	— 7,0
Gap.	14	58	— 6,5	Toulouse.	16	43	— 7,0
Grenoble.	15	10	— 6,6	Tours.	17	45	— 7,4
Guéret.	16	59	— 7,1	Troyes.	16	29	— 7,3
Laon.	16	53	— 7,6	Tulle.	16	53	— 7,1
La Rochelle.	18	18	— 7,3	Valence.	15	31	— 6,7
Laval.	18	36	— 7,5	Vannes.	19	24	— 7,5
Le Mans.	18	3	— 7,5	Versailles.	17	24	— 7,5
Le Puy.	16	0	— 6,9	Vesoul.	15	26	— 6,9

(*) Voir la circulaire du 14 juin 1875; partie administrative, 7e série, t. IV, p. 138.

II. — Ports français, autres que Bordeaux, la Rochelle, [illegible] Nantes, Nice et Saint-Brieuc.

VILLES.	DÉCLINAISON. degrés.	DÉCLINAISON. min.	VARIATION annuelle. minutes.	VILLES.	DÉCLINAISON. degrés.	DÉCLINAISON. min.	VARIATION annuelle. minutes.
Antibes.	14	24	— 6,2	Le Havre.	18	30	— [illegible]
Bayonne.	17	54	— 7,2	Lorient.	19	44	— [illegible]
Bouc.	15	13	— 6,7	Morlaix.	20	13	— [illegible]
Boulogne.	18	2	— 7,8	Port-Vendres.	15	50	— [illegible]
Brest.	20	25	— 7,5	Rochefort.	18	10	— [illegible]
Calais.	17	58	— 7,8	Royan.	18	7	— [illegible]
Cette.	15	47	— 6,8	Sables-d'Olonne.	18	42	— [illegible]
Cherbourg.	19	20	— 7,6	Saint-Malo.	19	23	— [illegible]
Dieppe.	18	5	— 7,6	Saint-Nazaire.	19	3	— [illegible]
Dunkerque.	17	50	— 7,8	Saint-Tropez.	14	32	— [illegible]
Fécamp.	18	27	— 7,6	Toulon.	14	49	— [illegible]
Granville.	19	12	— 7,5	Tréport.	17	59	— [illegible]
La Nouvelle.	15	57	— 6,8	Villefranche.	14	19	— [illegible]
La Teste.	17	57	— 7,2				

III. — Quelques villes à l'étranger.

VILLES.	degrés.	min.	minutes.	VILLES.	degrés.	min.	minutes.
Bâle.	14	44	— 6,8	Lucerne.	14	23	— [illegible]
Berne.	14	45	— 6,7	Luxembourg.	15	47	— [illegible]
Bruxelles.	16	49	— 7,7	Metz.	15	40	— [illegible]
Colmar.	14	58	— 6,9	Namur.	16	31	— [illegible]
Genève.	15	11	— 6,7	Strasbourg.	14	50	— [illegible]
Lausanne.	15	2	— 6,7	Utrecht.	16	40	— [illegible]
Liége.	16	13	— 7,6				

IV. — Ports étrangers.

VILLES.	degrés.	min.	minutes.	VILLES.	degrés.	min.	minutes.
Amsterdam.	16	47	— 7,9	Ostende.	17	34	— [illegible]
Anvers.	16	50	— 7,8	Plymouth.	20	46	— [illegible]
Gênes.	13	45	— 5,7	Portsmouth.	19	30	— [illegible]
La Haye.	17	3	— 7,9	Saint-Sébastien.	18	2	— [illegible]
Londres.	19	6	— 7,8				

(*Extrait d'une Note de* M. MARIÉ-DAVY *sur* la Carte magnétique de la France pour 1875; *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXI, p. 681 à 683.)

L. M.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE
DE LA PROVINCE DU HAINAUT
ET DE LA PRODUCTION HOUILLÈRE DE LA BELGIQUE EN 1873 ET 1874.

Exploitation de la houille.

HAINAUT.			1873	1874
Nombre de puits ou de siéges d'exploitation en activité.			202	203
Production	Quantité	tonnes	11.652.953	10.698.130
	Valeur	francs	255.276 570	178.446 415
Prix de vente moyen par tonne		francs	21,90	16.68
Dépenses	en salaires	francs	111,890 900	95.724.250
	totales	francs	189.916.670	162.047.045
Prix de revient moyen par tonne		francs	16.30	15,15
Nombre de mines	en gain		72	60
	en perte		18	29
Bénéfice net	général	francs	65.359.900	16.399.370
	par tonne	francs	5,60	1,53
Nombre d'ouvriers	au fond		60.972	»
	au jour		18.584	»
	total		79.556	80.075
Production annuelle moyenne, par ouvrier		tonnes	146	134
Salaire annuel moyen		francs	1.406	1.195
Stock au 31 décembre		tonnes	402.516	282.099

Le total de 11.652.953 tonnes qui représente la production, en 1873, comprend :

	Tonnes.
Charbon maigre, dit terre-houille	10.500
Charbon à courte flamme	1.142.467
Charbon demi-gras	5.788.648
Charbon gras à coke	2.191.327
Charbon flambant, dit *flénu*	2.520.010
Total	11.652.952

Au point de vue de la provenance, la production se répartit ainsi :

PROVENANCES.	1873	1874
	tonnes.	tonnes.
Arrondissement de Mons	4.102.553	3.751.160
— de Charleroi	4.368.100	3.791.000
— du centre	3.182.300	3.155.970
Total	11.652.953	10.698.130

Les machines à vapeur employées par l'industrie houillère sont portées, en nombre et en force, au tableau suivant :

NATURE des machines.	NOMBRE.		FORCE COLLECTIVE en chevaux-vapeur.	
	1873	1874	1873	1874
Extraction.	292	302	29.386	30.829
Épuisement.	110	112	20.091	20.210
Aérage.	257	264	8.424	9.468
Diverses.	443	483	4.829	5.555
Total.	1.102	1.161	62.730	66.062

Il y avait, en 1873, 3.369 fours à coke, dont 2.640 ont travaillé pendant toute l'année; ils ont consommé 1.662.442 tonnes de houille et 1.203.200 tonnes de coke; ils ont occupé 1.757 ouvriers.

Quant aux accidents, ils sont indiqués ci-dessous :

	1873	1874
Nombre d'accidents graves.	169	152
Nombre d'ouvriers { blessés.	33	52
Nombre d'ouvriers { tués.	181	165
Quantité de houille extraite :	tonnes.	tonnes.
Par accident.	68.952	71.321
Par homme tué.	64.381	64.837

La production totale de la houille, pour la Belgique entière, s'est élevée :

En 1873, à. . . . . 15.778.401 tonnes.
En 1874, à. . . . . 14.669.029 —

Elle se décompose, pour 1874, de la façon suivante :

Hainaut. . . . . 10.698.130 tonnes.
Liége. . . . . 3.530.775 —
Namur. . . . . 440.124 —
Total. . . . . 14.669.029 —

Les exportations du royaume ont été, en 1874 :

de 3.886.366 tonnes de houille
et de 574.663 tonnes de coke,
dont 3.672.860 tonnes de houille } pour la France.
et 301.277 tonnes de coke } pour la France.

Les importations ont atteint, en 1874, les chiffres suivants :

Houille.	458.282 tonnes.
Coke.	8.807 —

La France figure dans ces importations pour :

86.560 tonnes de houille
et 6.294 tonnes de coke.

Mines de fer et usines minéralurgiques (pour la province du Hainaut seule).

NATURE des établissements.	1873 Nombre en activité.	1873 Nombre en inactivité.	1873 Nombre d'ouvriers.	1873 Quantités produites.	1873 Valeurs.	1874 Valeurs.
				tonnes.	francs.	francs.
Mines de fer.	41	»	154	m. brut 25.760 m. lavé 23.705	211.570	332.330
Carrières.	449	»	10.870	»	18.238.630	17.901.559
Hauts fourneaux au coke.	34	12	3.060	392.160	47.474.500	106.680.712
Fours à puddler.	132	48	9.222	268.408	77.484.800	
Fours à réchauffer. . . .	396	100				
Usines à ouvrer le fer. .	75	19	618	6.378	3.248.550	
Fonderies.	85	2	1.682	40.256	11.955.000	
Verreries et fabriques de glaces.	65	2	7.497	»	39.255.000	39.048.000
Totaux.			33.103	. . . .	197.868.050	163.962.601

Machines à vapeur (Hainaut seul).

	1873	1874
Nombre.	3.804	8.993
Force totale en chevaux.	132.134	139.545

L'emploi de la vapeur a donné lieu, en 1874, à trois accidents par suite desquels trois ouvriers ont perdu la vie, et cinq autres ont reçu des blessures sans gravité.

(*Extrait des rapports adressés à M. le Ministre des affaires étrangères, par* M. E. BOUILLAT, *consul général de France à Anvers* [*production de* 1873], *et par* M. CH. CHAZAL, *vice-consul de France à Mons* [1874].) R. Z.

STATISTIQUE MINÉRALE DE L'ANGLETERRE

POUR L'ANNÉE 1874.

Production du Royaume-Uni (*).

NATURE DES MATIÈRES EXTRAITES.	QUANTITÉS.	VALEURS.
	Tonnes.	Francs.
Charbon	125.043.257	1.146.229.450
Minerai de fer	14.844.937	182.954.225
Minerai de cuivre	78.521	8.410.350
Minerai d'etain	14.039	19.707.750
Minerai de plomb	76.202	25.604.675
Minerai de zinc	16.830	1.304.875
Pyrites de fer	56.208	955.650
Arsenic	6.268	685.950
Oxydes de manganèse	5.778	730.025
Ocre et terre d'ombre	7.122	236.950
Wolfram	33	13.625
Bismuth	»	950
Minerai d'argent	2,5	500
Spath-fluor	635	7.925
Argile (kaolin et argile réfractaire)	2.436.912	19.303.975
Sel	2.306.567	28.830.825
Carbonate et sulfate de baryte	14.374	307.525
Coprolithes et phosphorite	149.654	9.767.250
Gypse	66.124	826.350
Autres minéraux terreux, estimés	»	75.000
Valeur totale		1.445.992.425

Métaux extraits des minerais en 1874.

MÉTAUX.	QUANTITÉS.	VALEURS.
Or	11 kil,975	33.500 fr.
Fonte	5.991.408 tonnes.	411.909.300
Cuivre	4.981	11.197.275
Etain	9.942	26.942.600
Plomb	58.777	32.461.575
Zinc	4.470	2.669.325
Argent	15.840 kil,043	3.182.975
Autres métaux, estimés	»	75.000
Valeur totale des métaux produits		488.476.750 fr.

(*Extrait des* Mineral Statistics of the United Kingdom, for the year 1874, *dressés et publiés par* M. ROBERT HUNT.)

(*) La publication de M. Robert Hunt nous parvenant au moment de mettre cette livraison sous presse, nous ne donnons ici que le sommaire général de la production, renvoyant à l'année prochaine pour les détails relatifs à chaque minerai en particulier, et nous proposant de les donner à la fois, s'il est possible, pour 1874 et 1875, comme nous l'avons fait pour 1872 et 1873, dans la sixième livraison de 1874 (*Bulletin*).

Les tonnes qui figurent ici sont des tonnes anglaises (V. 6e livraison, 1874, p. 6??); la livre sterling est comptée à 25 francs, et l'once (métaux précieux) à 31gr,103. R. Z.

BOARD-OF-TRADE, août 1874 (*).

INSTRUCTIONS POUR LES CONTROLEURS.

Pression de régime des chaudières cylindriques.

Le Board-of-Trade a été fréquemment prié de publier le détail des règles qui guident ses conseillers dans la fixation de la pression des chaudières à vapeur. Ces règles ont été réunies dans la présente circulaire pour servir aux ingénieurs et aux constructeurs de chaudières.

Quand les chaudières sont construites avec les meilleurs matériaux, que *tous* les trous de rivets ont été percés au foret, sur place, que *toutes* les coutures sont pourvues de doubles couvre-joints, ayant au moins les $\frac{5}{8}$ de l'épaisseur des tôles qu'ils recouvrent, que *toutes* les coutures ont au moins deux rangs de rivets, et que les rivets ne supportent pas un effort de plus de 50 p. 100 supérieur à celui qui résulterait du cisaillement simple, que les chaudières, enfin, ont pu être soumises à l'inspection des contrôleurs, pendant *toute* la durée de la construction, quand toutes ces conditions sont réunies, le nombre 6 peut être adopté comme facteur de sécurité. Néanmoins, les chaudières doivent être éprouvées, au moyen de la presse hydraulique, au double de la pression de régime, en présence et à la satisfaction des contrôleurs du Board-of-Trade.

Mais quand les conditions ci-dessus énumérées ne sont pas remplies, le facteur 6 *doit* être augmenté des nombres, indiqués dans le tableau ci-dessous, correspondants aux cas qui peuvent se présenter.

(*) Traduction de la circulaire n° 755. $\frac{\text{M. } 4.596}{1873.}$ & $\frac{11.410.}{1874.}$

	A AJOUTER au facteur 6.	
A	0,15	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au foret avant l'assemblage et après le cintrage.
B	0,30	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au foret avant l'assemblage et avant le cintrage.
C	0,30	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au poinçon après le cintrage.
D	0,50	Quand tous les trous sont corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales, mais qu'ils ont été percés au poinçon avant le cintrage.
E *	0,75	Quand tous les trous ne sont pas corrects et régulièrement percés dans les coutures longitudinales.
F	0,10	Quand les trous sont tous corrects et régulièrement percés dans les coutures transversales, mais percés au foret avant l'assemblage et après le cintrage.
G	0,15	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales, mais forés avant le cintrage.
H	0,15	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales, mais percés au poinçon après le cintrage.
I	0,20	Quand les trous sont corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales, mais percés au poinçon avant le cintrage.
J *	0,20	Quand les trous ne sont pas corrects et percés régulièrement dans les coutures transversales.
K	0,20	Quand les coutures longitudinales ne sont pas pourvues de doubles couvre-joints et qu'elles sont à clin et rivées à deux rangs de rivets.
L	0,10	Quand les coutures longitudinales ne sont pas pourvues de doubles couvre-joints et qu'elles sont à clin et rivées à trois rangs de rivets.
M	0,30	Quand les coutures longitudinales sont pourvues de couvre-joints simples et qu'elles sont rivées à deux rangs de rivets.
N	0,15	Quand les coutures longitudinales sont pourvues de couvre-joints simples et rivées à trois rangs de rivets.
O	1,00	Quand il y a une couture longitudinale quelconque rivée à un seul rang de rivets.
P	0,10	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joints simples et rivées à deux rangs de rivets.
Q	0,20	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joints simples et rivées à un seul rang de rivets.
R	0,10	Quand les coutures transversales sont pourvues de couvre-joints doubles et rivées à un seul rang de rivets.
S	0,10	Quand les coutures transversales sont à clin et rivées à deux rangs de rivets.
T	0,20	Quand les coutures transversales sont à clin et rivées à un seul rang de rivets.
U	0,25	Quand les coutures transversales sont à clin et que le recouvrement n'est pas fait dans un seul et même sens.
V	0,30	Quand les coutures transversales ne sont pas pourvues de doubles couvre-joints et rivées à deux rangs de rivets. Quand la chaudière est d'une longueur telle qu'on doive la chauffer par les deux extrémités ou qu'elle est d'une longueur inusitée, comme les chaudières à carneaux intérieurs.
W *	0,40	Quand les joints ne sont pas convenablement croisés.
X *	0,40	Quand il y a des doutes sur la qualité du fer, que le contrôleur ne le considère pas comme de la meilleure qualité.
Y	1,65	Quand la chaudière n'a pas été soumise à l'inspection du contrôleur pendant toute la durée de sa construction.

* Dans les cas marqués d'une * le nombre à ajouter au facteur de sécurité peut être augmenté si la main-d'œuvre ou la qualité des matériaux laisse beaucoup à désirer.

La résistance des joints se détermine par la méthode suivante :

$$\frac{\text{rtement d'axe en axe — Diamètre des rivets)} \times 100}{\text{Ecartement d'axe en axe.}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rapport de la résistance de la tôle au joint,} \\ \text{à la résistance de la même tôle hors du} \\ \text{joint. — Celle-ci étant supposée égale} \\ \text{à 100.} \end{array} \right.$$

$$\frac{\text{tion des rivets} \times \text{Nombre de rangs de rivets} \times 100}{\text{Ecartement d'axe en axe} \times \text{Epaisseur de la tôle.}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rapport de la résistance des rivets à la} \\ \text{résistance de la tôle hors du joint. —} \\ \text{Celle-ci étant supposée égale à 100 (1).} \end{array} \right.$$

1) Quand les rivets travaillent par double cisaillement, ce rapport doit être multiplié par 1,5.

La résistance du fer étant admise comme égale à 23 tonnes ou 51.520 livres par pouce carré, on prend,pour représenter la résistance du joint, le plus faible des deux rapports ci-dessus et l'on adopte, pour la valeur du facteur de sécurité, le nombre qui résulte de l'application des indications du précédent tableau ; la charge P des soupapes de sûreté, en livres, par pouce carré, est alors déterminée par la formule suivante :

$$P = \frac{51520 \times \text{résistance du joint} \times \text{deux fois l'épaisseur de la tôle en pouces.}}{\text{Diamètre intérienr de la chaudière en pouces} \times \text{facteur de sécurité.}}$$

Les tôles qui ont été forées sur place *doivent* être démontées, les bavures enlevées et les trous légèrement fraisés à l'extérieur.

Les couvre-joints *doivent* être pris dans les tôles (et *non* dans des barres de fer plat), et doivent être d'aussi bonne qualité que les tôles de l'enveloppe ; pour les joints longitudinaux, ils *doivent* être débités dans le travers des feuilles. Les trous de rivets, dans les couvre-joints, peuvent être percés au foret ou au poinçon, selon qu'ils sont percés au foret ou au poinçon dans les tôles avant l'assemblage ; mais quand ils ont été percés sur place, les couvre-joints doiveut être démontés, les bavures enlevées et les trous légèrement fraisés à l'extérieur.

Quand on emploie des couvre-joints simples et que les trous des rivets y sont percés au poinçon, leur épaisseur *doit* être de $\frac{1}{8}$ plus forte que celle des tôles qu'ils recouvrent.

Le diamètre des rivets ne *doit* pas être inférieur à l'épaisseur des feuilles dont se compose l'enveloppe, mais quand les plaques sont minces, ou quand on fait usage de joints à clin ou de couvre-joints simples, il est nécessaire que le diamètre des rivets soit supérieur à l'épaisseur des tôles.

Signé Thomas GRAY.

PRODUCTION EN MÉTAUX PRÉCIEUX DES ÉTATS ET TERRITOIRES DE L'OUEST DES ÉTATS-UNIS PENDANT L'ANNÉE 1875.

Le numéro du 24 janvier 1876 de "*The Mining Review*" de Denver (Colorado), publie une lettre de M. J. J. Valentine, *general superintendant* de la grande compagnie de transports (*express company*) de Wells, Fargo et comp., donnant la production en métaux précieux des États et territoires situés à l'ouest de la rivière Missouri (y compris la Colombie anglaise et la côte occidentale du Mexique). La production totale, en 1875, a été de $ 80.889.073 (418.277.396 fr.), soit $ 6 487.982 (33.549 355 fr.), de plus qu'en 1874 : la production de 1874 avait été, d'ailleurs, la plus grande obtenue jusqu'alors. En 1875, il y a eu augmentation de production dans le Nevada, le Colorado, le Mexique (*côte occidentale*), l'Orégon, la Colombie anglaise, le Montana et l'Arizona, et diminution dans la Californie, l'Idaho, l'Utah et le territoire de Washington. Toutefois, pour le Mexique, l'Orégon et l'Arizona, l'augmentation est plutôt apparente que réelle, car dans les relevés de 1875, on a compté une source régulière de produits jusqu'alors omise. La diminution de production en Californie est due surtout au manque d'eau pour les exploitations hydrauliques. L'augmentation dans le Colorado et le Nevada est notable; on remarquera que le Nevada entre pour la moitié dans la production totale.

M. R. W. Raymond estime la production des territoires de New Mexico (omis dans le présent tableau), et d'Arizona ensemble à $ 987.000 (5.104.000 fr.), ce qui est une estimation très-large et exagérée, d'après M. Valentine.

L'état actuel des exploitations semble présager pour l'année courante une production de $ 90.000.000 (fr. 465.000.000), dans laquelle le Nevada entrera pour $ 50.000.000 (fr. 260.000.000).

Production en or et argent des États et territoires à l'ouest de la rivière Missouri, en 1875.

ÉTATS ET TERRITOIRES.	OR en poudre et en lingots.		ARGENT en lingots.		MINERAIS ET PLOMBS d'œuvre.		TOTAUX.	
	dollars.	francs (*).	dollars.	francs.	dollars.	francs.	dollars.	francs.
Californie.	16.326.211	84.422.837	387.768	2.005.148	1.039.172	5.373.558	17.753.151	91.801.543
Nevada.	216.543	1.119.734	35.283.193	182.449.391	4.978.633	25.744.511	40.478.369	209.313.646
Orégon.	1.165.046	6.024.453	»	»	»	»	1.165.046	6.024.453
Washington.	81.932	423.670	»	»	»	»	81.932	423.670
Idaho.	1.280.067	6.619.226	230.835	1.193.649	44.000	228.000	1.554.902	8.040.398
Montana.	2.735.609	14.145.834	88.000	455.000	750.000	3.860.000	3.573.609	18.479.132
Utah.	48.054	248.487	764.041	3.950.856	4.875.399	25.210.687	5.687.494	29.410.030
Arizona.	23.500	121.500	»	»	85.593	442.601	109.093	564.101
Colorado.	2.627.444	13.586.513	2.610.266	13.497.685	1.062.107	5.492.155	6.299.817	32.576.354
Mexique.	68.117	352.233	1.716.184	8.874.387	624.370	3.228.617	2.408.671	12.455.237
Colombie anglaise.	1.776.953	9.188.634	»	»	»	»	1.776.953	9.188.634
Totaux.	26.349.476	136.253.121	41.080.287	212.426.115	13.459.274	69.580.129	80.889.037	418.277.198

(*) La conversion en francs est faite en prenant pour valeur du dollar 5f,171.

Plusieurs des chiffres de ce tableau ne sont certainement pas d'une exactitude parfaite, et il est impossible qu'il en soit autrement, les relevés de ce genre n'étant qu'approximatif. Les chiffres fournis par Wells, Fargo et Ce sont, d'ailleurs, très-précieux pour l'établissement des statistiques de production de métaux précieux, car presque tous les transports de ces métaux se font par l'intermédiaire de cette compagnie. Dans la colonne, or en poudre et en lingots, est comprise la valeur de la petite quantité d'argent que les lingots d'or renferment, et inversement, dans la colonne argent en lingots, la valeur de l'or qu'ils contiennent.

La production de mercure de la Californie en 1875 est estimée à 40.000 bouteilles (*flasks*) de 76,5 lbs. ou 34^{k},7 (1.388.000 kil.), et celle du reste du monde, pendant la même année, à 50.000 bouteilles (1.735.000 kilog.). La Californie, du 1er janvier au 1er octobre 1875, en a exporté 21.398 bouteilles (742.511 kilog.), contre 4.151 (144.040 kilog.), seulement pendant la période correspondante en 1874.

Le prix moyen du mercure à San Francisco, depuis 1859 jusqu'au 1er janvier 1875 a été de 60 *cents* la livre (6^{f},85 le kilog.). En 1874, ce prix a été en moyenne de \$ 1,38 (15^{f},80 le kilog.), et, pendant les dix premiers mois de 1875, de 80 *cents* (9^{f},10 le kilog.).

(*Extrait du journal* The Mining Review, *de Denver; par* M. E. Sauvage, *Ingénieur des mines.*)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME HUITIÈME.

Fig. 1. Source de Bourbonne-les-Bains ; puisard romain, avec la construction moderne qui lui est superposée.

B. Béton. — C. Pierres de taille en calcaire oolithique. — G. Grès bigarré. — M. Moellons et briques.

b. Boue noirâtre avec des noisettes, et autres débris végétaux.

b'. Même boue, renfermant des milliers de médailles.

b''. Boue, mélange de sable et de débris pierreux en partie cimentés par des minéraux métalliques de formation nouvelle.

s. Sable fin.

a. Argiles supérieures du grès bigarré.

S. Sable quartzeux qui paraît former une sorte de colonne verticale.

Fig. 2. Attaque du cuivre métallique au sondage n° 10. — *aa'* niveau supérieur. — *bb'* niveau inférieur de l'eau minérale.

Fig. 3. Attaque du cuivre métallique au sondage n° 11. — *aa'* niveau en dehors de la saison des bains. — *bb'* niveau dans la saison des bains.

Fig. 4. Tuyaux en plomb ; coupes de cinq tuyaux.

A. Tuyau horizontal, qui servait de trop-plein au puisard romain.

B. Tuyau horizontal du puisard civil, avec soudure en plomb et l'inscription *Cocillus f.*

C. Tuyau vertical, puits n° 2, *Cinnamus fec.*

D. Tuyau horizontal, sondage n° 12.

E. Tuyau horizontal.

Fig. 5. Disposition des tuyaux en plomb horizontaux, près desquels s'est produite la phosgénite.

G. Pierre de taille en grès. — B. Béton.

Fig. 6. Tuyaux en bronze servant de raccords au tubage en plomb. — SS soudure. — *tt* plomb placé à la partie intérieure du tuyau pour former un joint étanche.

Fig. 7. Formation de la pyrite sous un carrelage.

A. Caniveau paraissant sortir du puisard romain ou de son voisinage.

C. Carrelage en briques un peu cintré, où la pyrite s'est produite.

B. Couche de béton.

D. Conduite paraissant servir de passage à l'eau thermale ; peut-être a-t-elle servi de conduite de vidange.

E. Pavé debout.

Fig. 8. *ppp*. — Pilotis imprégnés de calcaire.

Fig. 9. Érosion des pierres de taille par l'action de l'eau thermale. — Vue de face d'une paroi verticale du puisard romain. — Même paroi vue de profil.

Fig. 10. Vue perspective de l'appareil de M. Orsat pour l'analyse industrielle des gaz. . . . . Page 85

ERRATA.

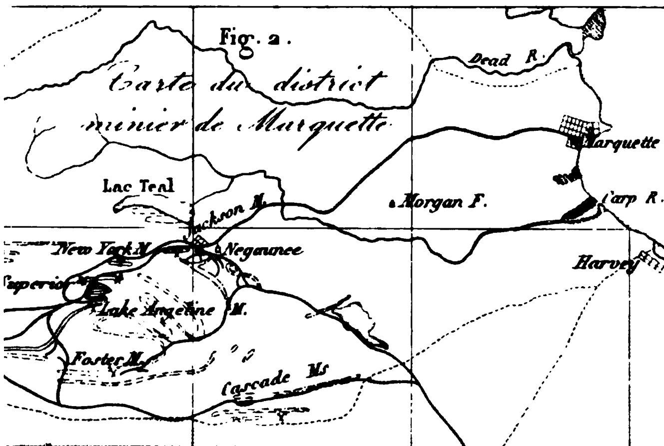
Page 201, 7e ligne d'en bas, *au lieu de* : dans les gaz brûlés. . . . . 0,[illegible]

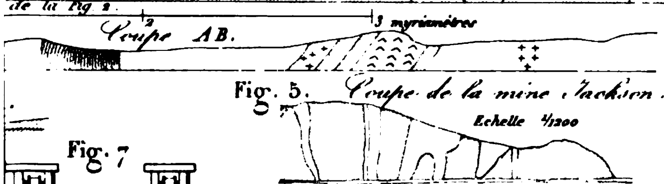
lisez : dans les gaz brûlés. . . . . 5,[illegible]

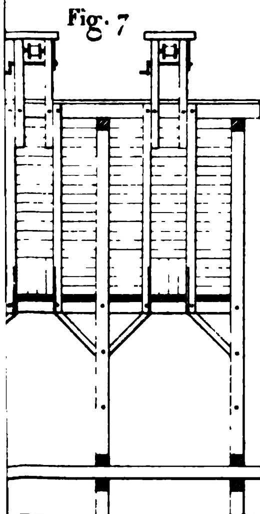
Page 201, dernière ligne de la page, *au lieu de*. . . . . 95,[illegible]

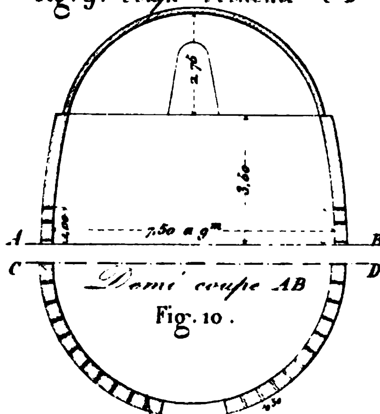
lisez. . . . . 100,[illegible]

Paris. — Imprimerie Arnous Rivière et Cie, rue Racine, 26.









de des coupes Fig. 3 et 4.

Hématite et magnétite.
Jasper.
Flag ore.
Limonite.
Diorite.
Quartzite.
Micaschiste.
Schiste limonitique.
Laurentien.

Légende de la Carte Fig. 2.

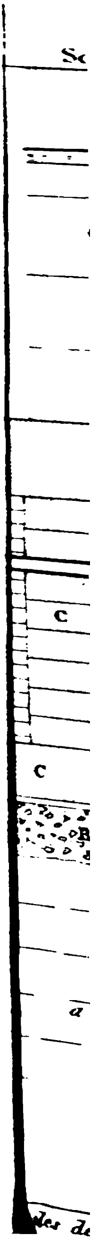
Chemins de fer.
Hauts-fourneaux (F.)
Mines (M.)
Silurien inférieur.
Hématite et magnétite
Flag ore
Limonite.
Laurentien.

Lemaître, Barré et Marquet del. et sc.









C
C
a

...ux en plomb (Ech. 1/4)

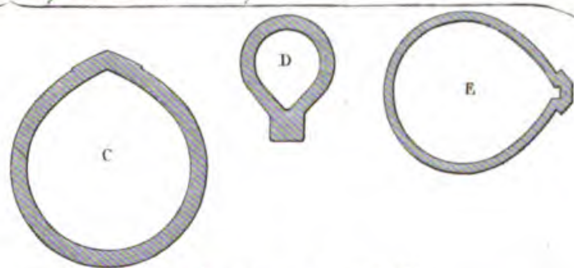
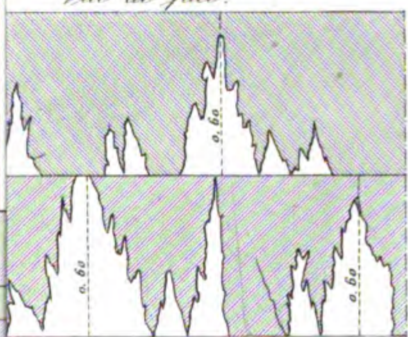


Fig. 9. Erosion des pierres de taille

Vue de face.



Profil.

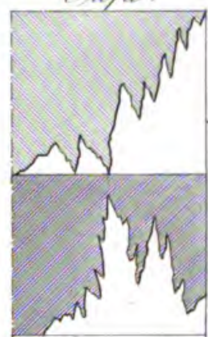
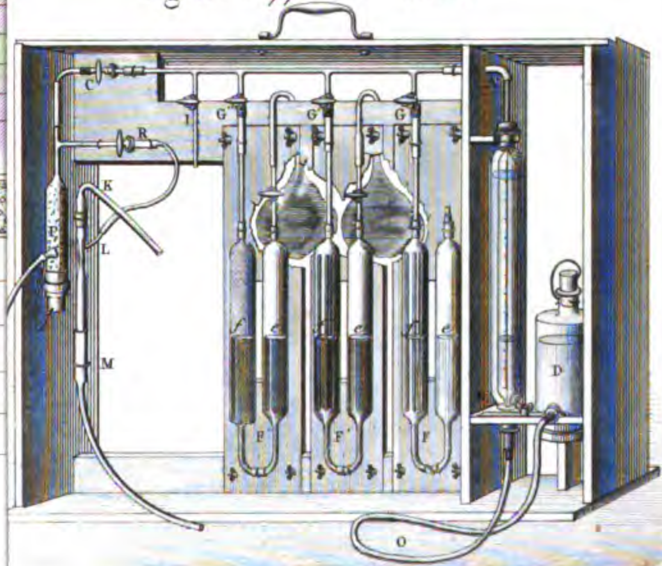
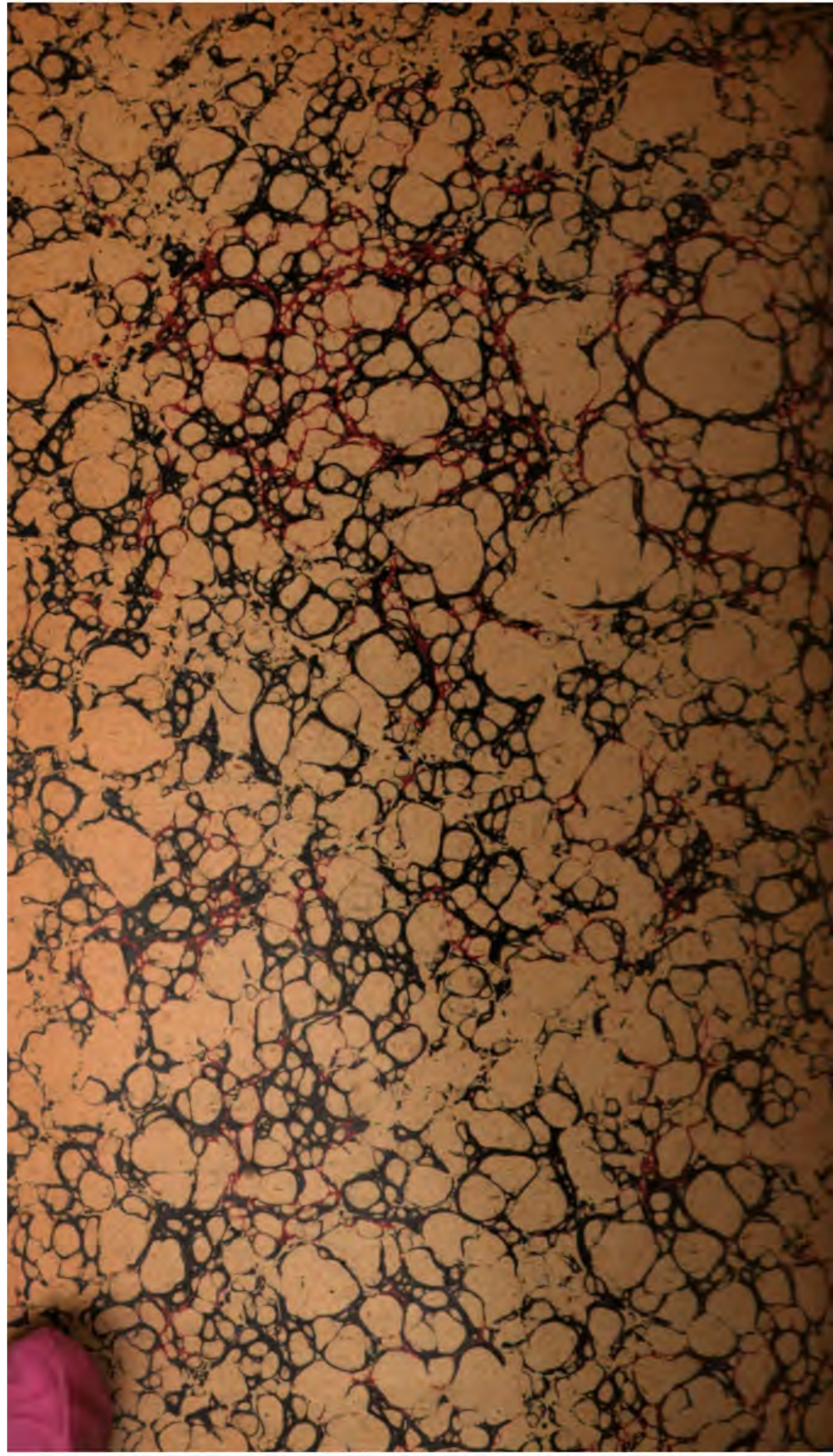


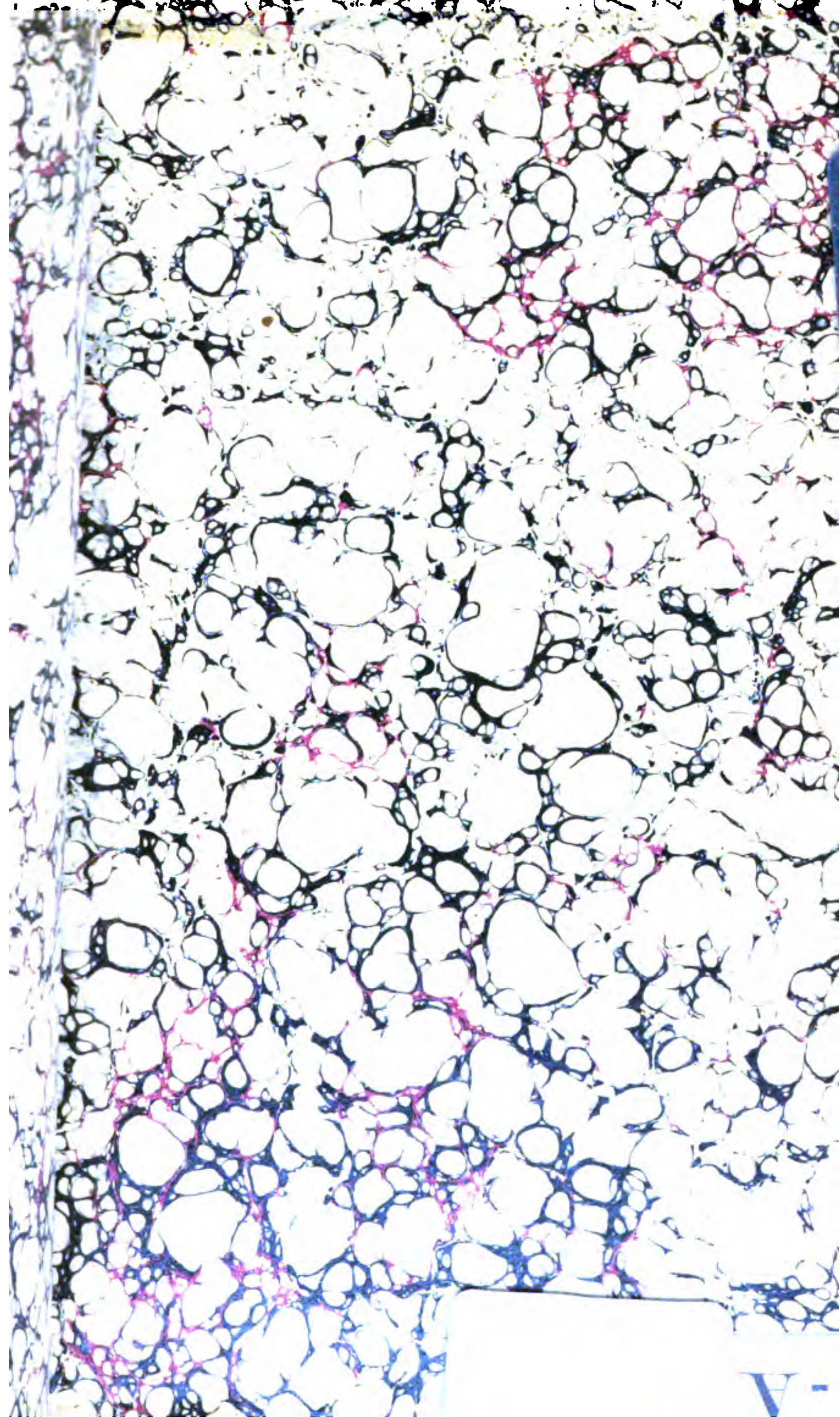
Fig. 10. Appareil Orsat

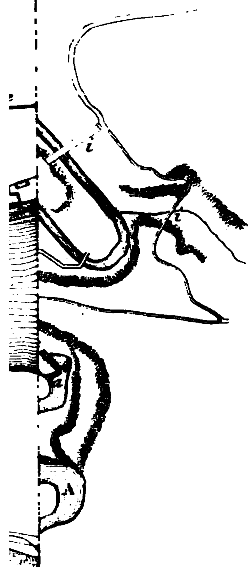


Lemaitre, Barré et Macquet del. et...









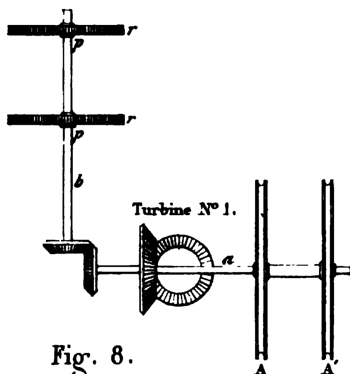
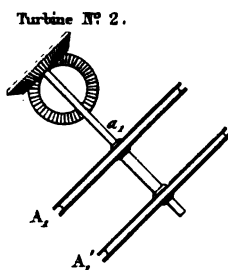
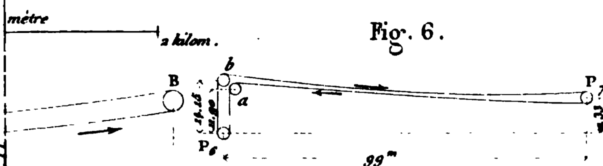


Fig. 8.

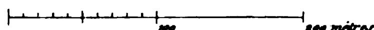


mètre — 2 kilom.

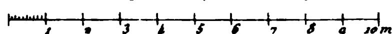
Fig. 6.



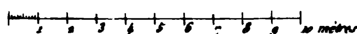
Echelle des Fig 1 et 5 de 0m 002 p. 10 m.



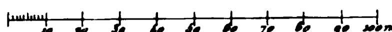
Echelle des Fig. 2 3 et 7 de 0m 005 p. 1 m.



Echelle de la Fig. 8 de 0m 004 p. 1 m.



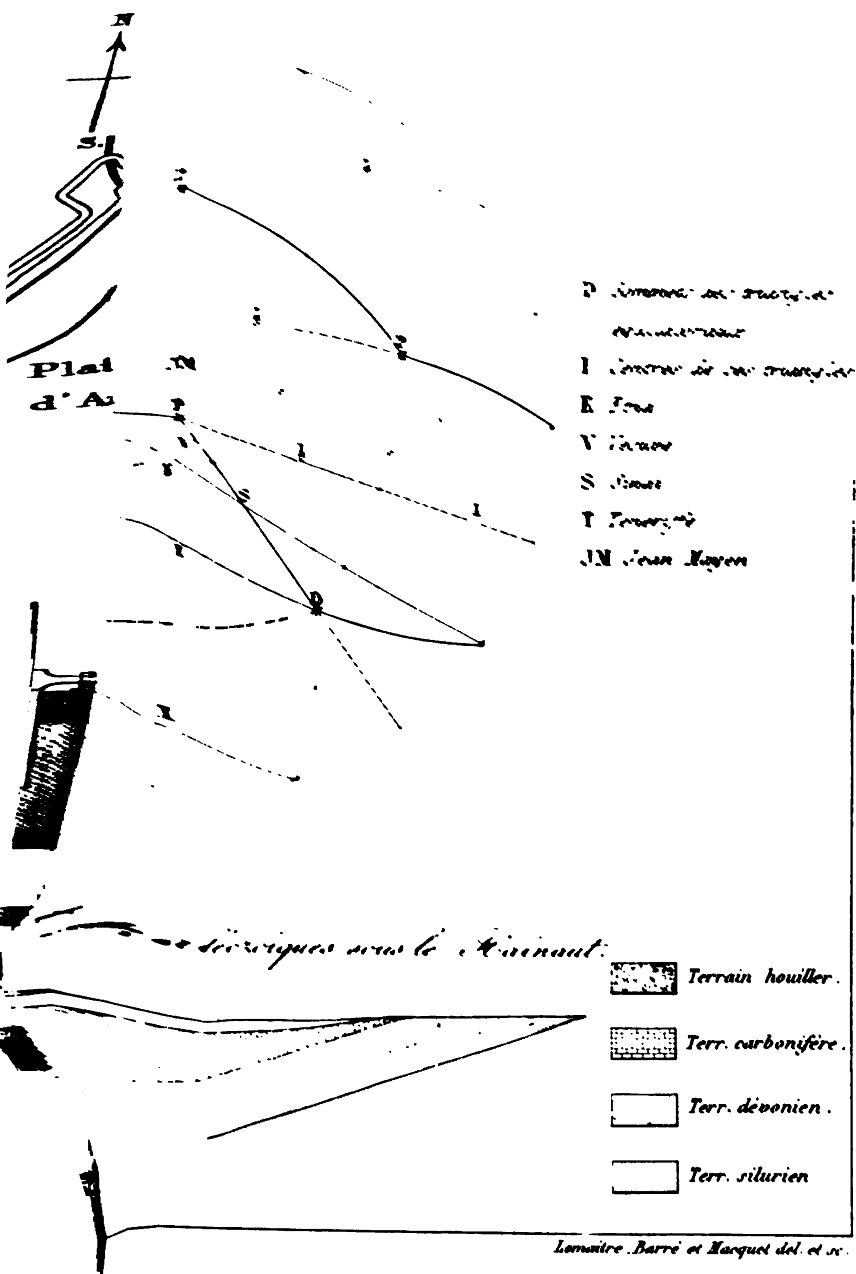
Echelle des Fig. 6 9 et 10 de 0m 005 pour 10 mètres



Lemaitre. Barré et Macquet del. et sc.

nes.




Terrain houiller.
Terr. carbonifère.
Terr. dévonien.
Terr. silurien
Lemaître, Barré et Hacquet del. et sc.

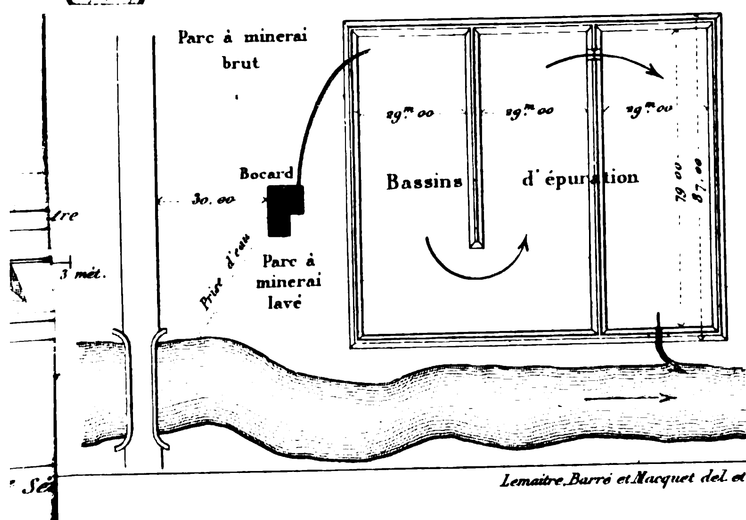


Coupe sur CD de la Fig. 1.

Palier.

Plan du chassis.

Fig. 4. *Plan général.*



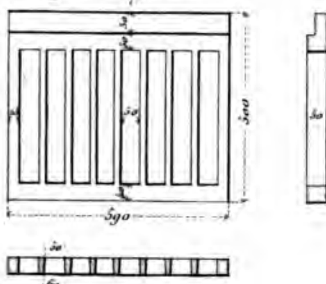
Lemaitre, Barré et Macquet del. et.



g. 5. *Taque*



Fig. 6. *Grille.*



Élévation.

chassis.

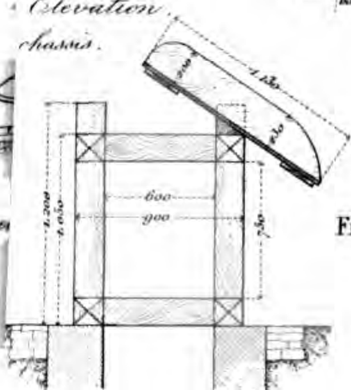


Fig. 8.

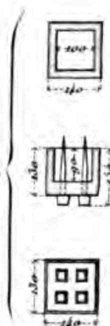
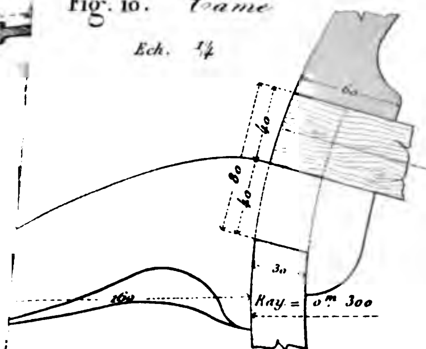
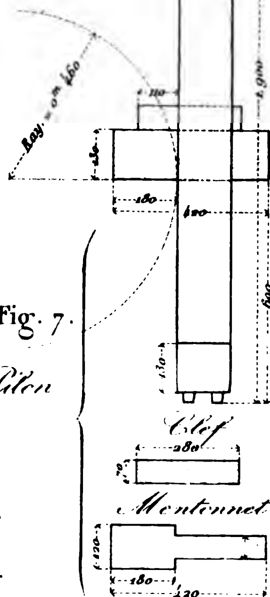
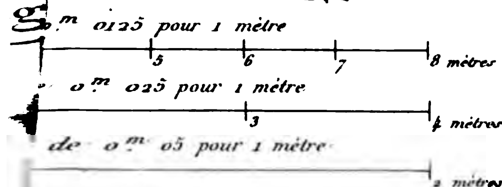


Fig. 10. *Came*

Ech. 1/4







Lemaitre, Barré et Macquet del. et sc.

Fig. 1. *Porphyre d'Hérival.*



Fig. 2. *Perlite de Schemnitz*



Fig. 3. *Pechstein de Fréjus.*



Fig. 4. *Pechstein de Fréjus.*



Fig. 5. *Pyromeride de Gargalong.*



Photogravure Goupil & Cie

Fig. 6. *Porphyre agatoïde de Fréjus.*

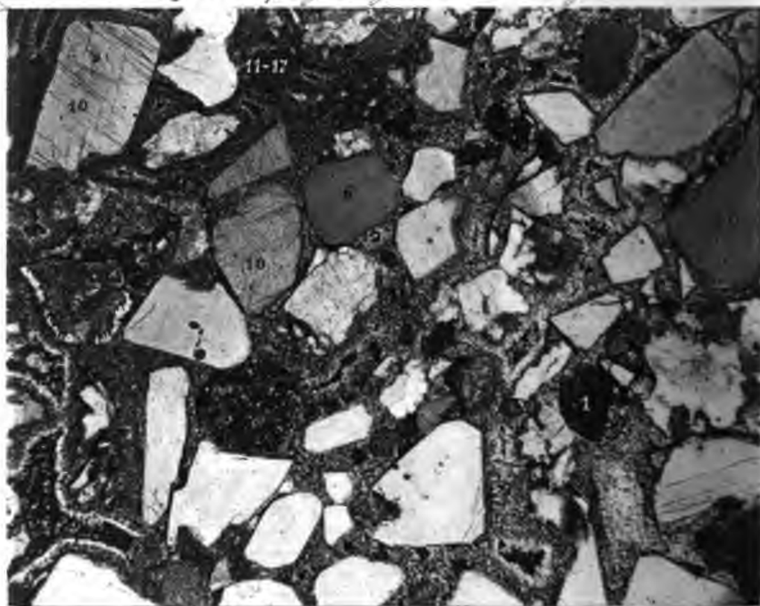


Fig. 7. *Pyroméride de Wuenheim.*



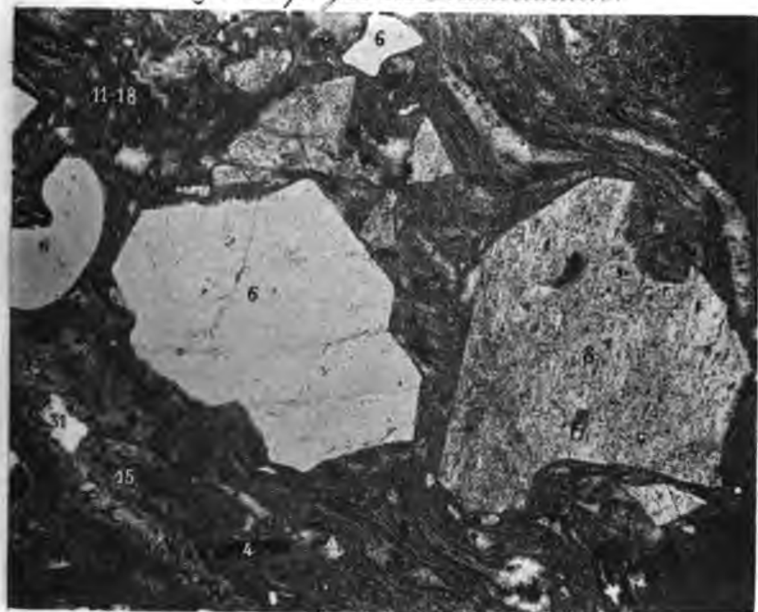
GÉO

GIE

Fig. 8. *Porphyre de Charandt.* Pl. IX.



Fig. 9. *Porphyre de Montreuillon.*



Photogravure Goupil & Cie

Fig. 10. Porphyre de Mont Chérus



Fig. 11. Porphyre de Morcote

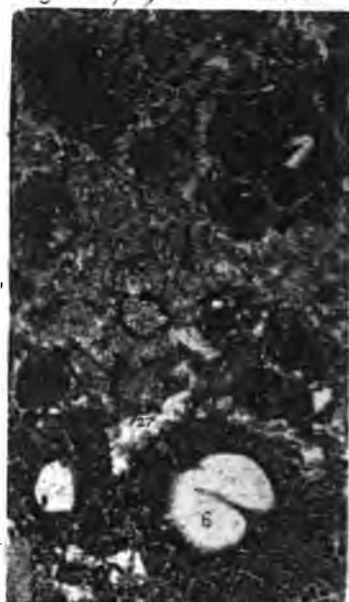


Fig. 12. Porphyre de Ste Pérouse

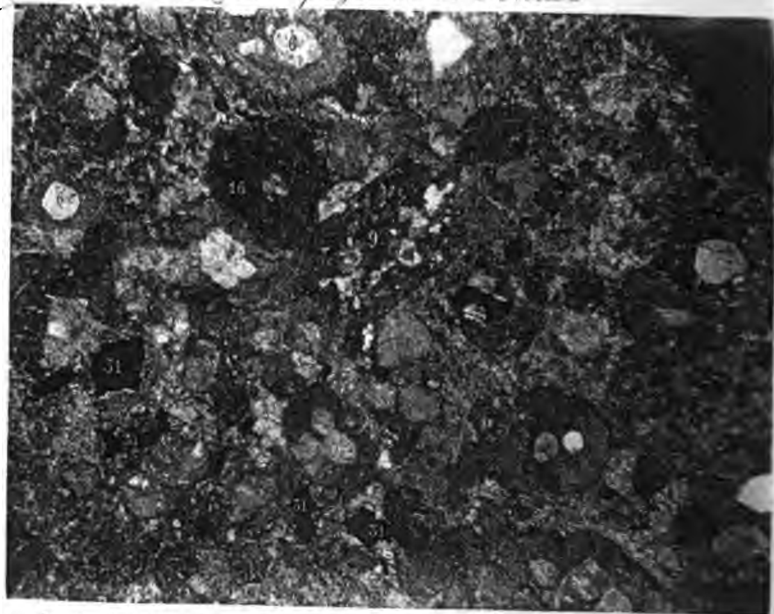


Fig. 13. *Porphyre des Forges.*

Pl. X.

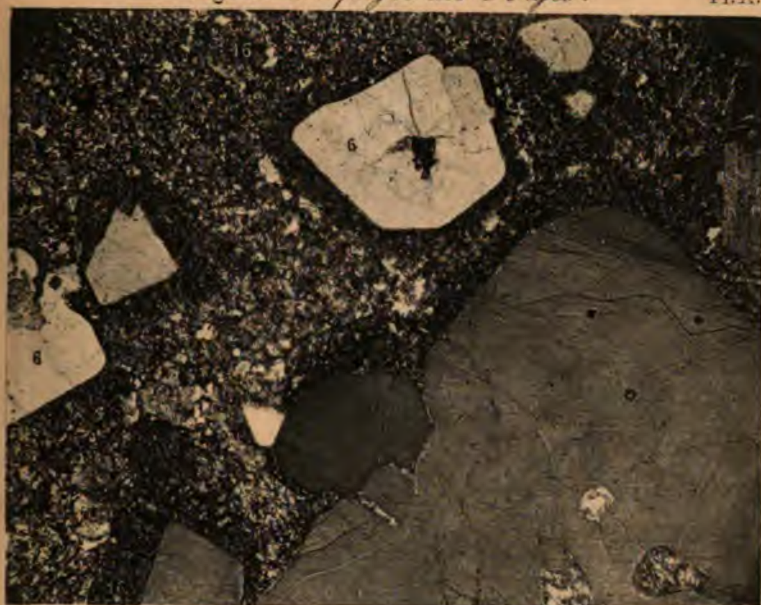


Fig. 14. *Porphyre du Mont-Genièvre.*



Photogravure Goupil & Cie.

Fig. 15. *Granulite de Montaiguet*



Fig. 16. *Pegmatite de Chanteloube*



Fig.17. Granulite de Central-City Pl. XI



Fig.18. Granulite de Grape Creek

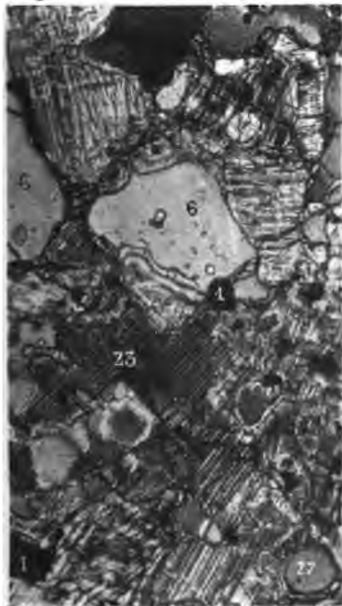


Fig.19. Pegmatite d'Oak Creek.



Photogravure Goupil &Cie.



P A

Fig. 20. *Pegmatite de l'Ile d'Elbe.*



A P

Fig. 21. *Granite syénitique de Sand Creek.*



Fig. 22. *Granite de Vire.* Pl. XII.



Fig. 23. *Porphyre noir de la Gayetière*

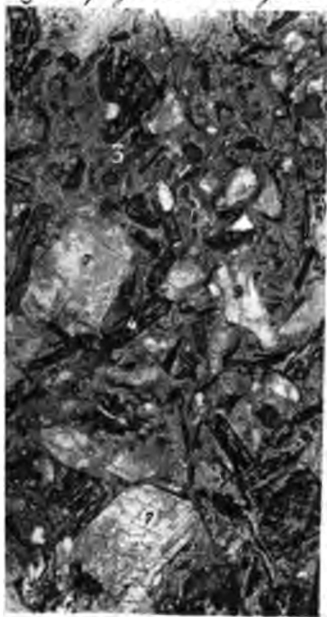
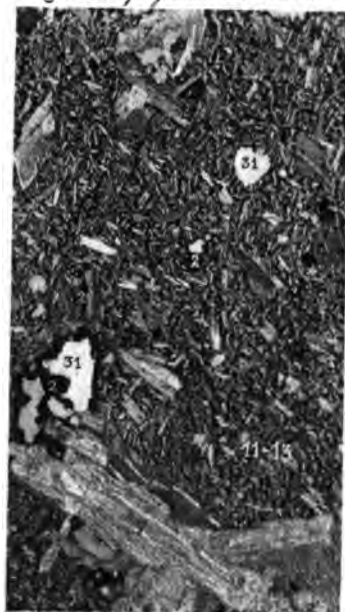


Fig. 24. *Mélaphyre de la Petite Fosse.*



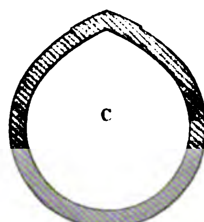
Photogravure Goupil & Cie

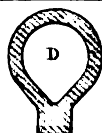


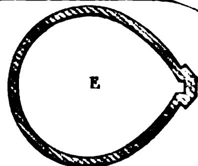
...uce en plomb (Ech. 1/4)

Sou...

Sol







G

C

C B C

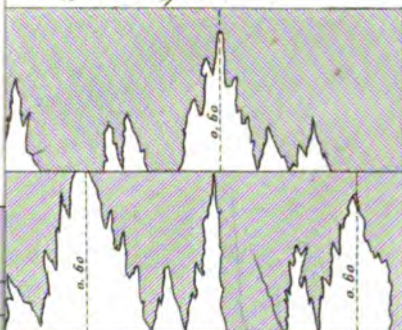
C C

R

a

Fig. 9. Erosion des pierres de taille

Vue de face.



Profil.

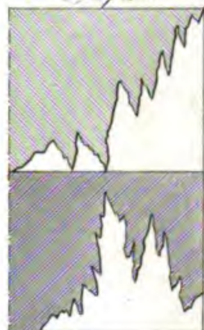
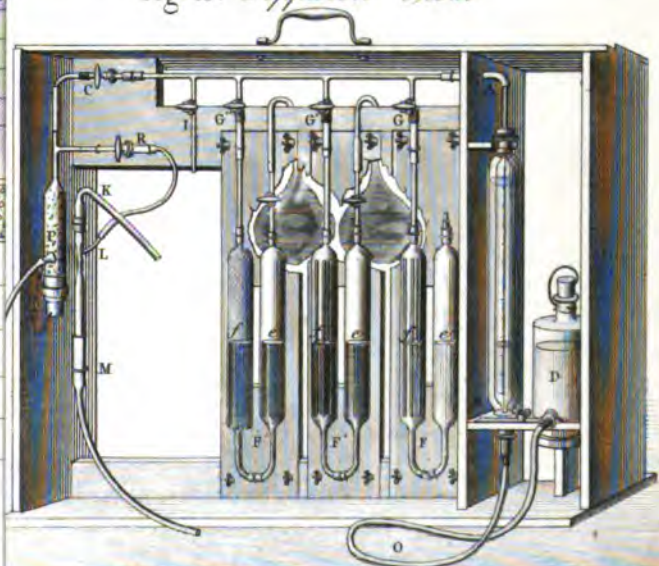
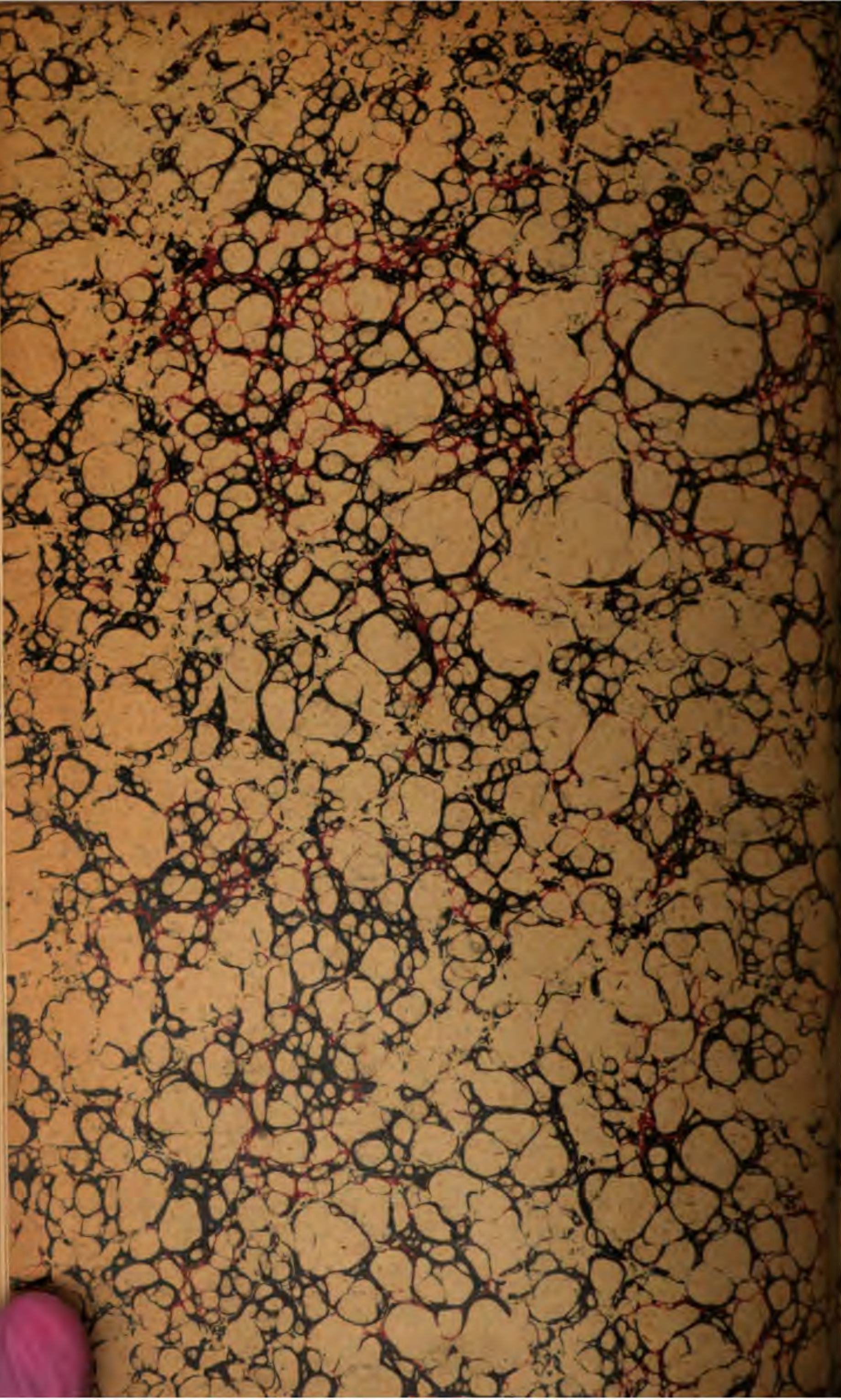


Fig. 10. Appareil Orsat



Lemaitre, Barré et Macquet del. et sc.




Gf-A